

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Franjo Beštak**

Zagreb, 2016. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKIRAD**

Mentor:

Prof. dr. sc. Dragutin Lisjak, dipl. ing.

Student:

Franjo Beštak

Zagreb, 2016. godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem na podršci i savjetovanju svojem mentoru prof. dr. sc. Dragutinu Lisjaku.

Također se zahvaljujem firmi STSi d.o.o. iz Zagreba – članu Ina grupe, koja me je primila da odradim praktični dio diplomskog rada.

Posebno se zahvaljujem na stručnoj pomoći Saši Bratku – voditelju Odjela za termografiju, vibracije i lasersko centriranje ( Služba tehničke kontrole i dijagnostike ), dipl.ing.elek. Zdravku Jalžabetiću, kao i svim ostalim djelatnicima firme STSi d.o.o., s kojima sam surađivao.

Franjo Beštak



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Datum 07-07-2016. Prilog
Klasa: 602-04/16-6/3
Ur.broj: 15-1703-16-250

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student:

**FRANJO BEŠTAK**

Mat. br.: 0035184320

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku:

**PRIMJENA BALANSIRANJA I CENTRIRANJA U ODRŽAVANJU  
ROTACIJSKIH STROJEVA**

Naslov rada na  
engleskom jeziku:

**APPLICATION OF BALANCING AND CENTERING IN  
MAINTENANCE OF ROTATING MACHINES**

Opis zadatka:

U radu rotacijskih strojeva moguće su različite nepravilnosti u radu, a najčešće zbog nesavršenosti geometrije dijelova koji rotiraju. Balansiranje je proces kojim se želi poboljšati raspodjela mase krutog rotacijskog tijela na način da tijelo rotira u svojim ležajevima bez neuravnoteženih centrifugalnih sila. Centriranje je proces kojim se dva rotacijska tijela pozicioniraju tako da u trenutku prijenosa snage s jednog vratila na drugo osi rotacije vratila budu kolinearne. U skladu s navedenim u radu je potrebno:

1. Opisati održavanje po stanju rotacijskih strojeva.
2. Detaljno opisati dinamičko balansiranje.
3. Detaljno opisati centriranje vratila.
4. Na konkretnom primjeru prikazati izvođenja dinamičkog balansiranja i laserskog centriranja odabranog rotacijskog stroja.
5. Zaključak.

Zadatak zadan:

5. svibnja 2016.

Rok predaje rada:

7. srpnja 2016.

Predviđeni datum obrane:

13., 14. i 15. srpnja 2016.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Dragutin Lisjak

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Franjo Cajner

# SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	VI
POPIS OZNAKA .....	VII
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY .....	IX
1. UVOD.....	1
2. ODRŽAVANJE ROTACIJSKIH STROJEVA .....	3
2.2. Životni vijek stroja .....	4
2.3. Održavanje po stanju rotacijskih strojeva .....	5
2.4. Dijagnostičke metode stanja rotacijskih strojeva .....	6
3. DINAMIČKO BALANSIRANJE .....	7
3.1. Izvori vibracija na stroju .....	10
3.1.1. Statička neuravnoteženost.....	11
3.1.2. Dinamička neuravnoteženost .....	11
3.2. Metode balansiranja .....	12
3.3. Postupci balansiranja.....	13
3.4. Sigurnosne mjere prilikom balansiranja .....	13
3.5. Primjena balansiranja u izvedbi hrvatskih tvrtki.....	13
4. CENTRIRANJE VRATILA .....	14
4.1. Metode centriranja vratila .....	15
4.2. Progib vratila unutar stroja.....	15
4.3. Parametri centriranja .....	16
4.3.1. Nagib, ofset između osi i praznina između glavčina spojke .....	17
4.3.2. Postupanje ovisno o vrsti spojke .....	18
4.4. Priprema centriranja .....	20
4.5. Upute za postavljanje stroja .....	20
4.6. Korekcija „soft foot-a“ .....	21
4.6.1. Postupak otklanjanja „soft foot-a“ .....	23

5. LASERSKO CENTRIRANJE.....	24
5.1. Lasersko centriranje vratila.....	24
5.1.1. Objašnjenje proširenja mogućnosti mjerenja.....	25
5.1.2. Efekti laserskog centriranja strojeva.....	28
5.1.3. Preciznost centriranja.....	29
5.2. Lasersko poravnanje remenica.....	31
5.2.1. Vrste nepravilno poravnatih remenica.....	31
5.2.2. Procedura poravnanja remenica.....	31
5.2.3. Upotreba PullAlign uređaja.....	32
5.3. Uzroci kvara strojeva.....	33
5.4. Detekcija loše centriranosti strojeva.....	33
6. PRIMJER DINAMIČKOG BALANSIRANJA I LASERSKOG CENTRIRANJA.....	35
6.1. Djelatnost Otpremne stanice Graberje Ivaničko.....	36
6.2. Opis problema.....	36
6.3. Tehnički podaci seta elektromotor-pumpa MP1.....	39
6.4. Dinamičko balansiranje rotora elektromotora.....	40
6.4.1. Izvještaj o balansiranju rotora elektromotora.....	41
6.4.2. Izvještaj o mjerenju vibracija.....	42
6.5. Lasersko centriranje elektromotora na postolje u postrojenju.....	43
6.5.1. Postupak izvođenja laserskog centriranja.....	45
6.5.2. Korišteni alat.....	53
6.5.3. Uređaj za lasersko centriranje Rotalign ultra.....	53
7. USPOREDBA REZULTATA PRIJE I NAKON IZVRŠENOG BALANSIRANJA I CENTRIRANJA.....	55
7.1. Stanje elektromotora prije reparature.....	55
7.2. Analiza rezultata vibracija na elektromotoru nakon izvršenog balansiranja.....	56
7.3. Stanje elektromotora nakon centriranja s pumpom.....	60
7.4. Termografsko ispitivanje elektromotora i pumpe nakon centriranja.....	61
8. ZAKLJUČAK.....	64
9. LITERATURA.....	66

## POPIS SLIKA

Slika 1. Nepravilnost u radu stroja .....	1
Slika 2. Učestalost kvarova tijekom životnog vijeka stroja .....	4
Slika 3. Princip održavanja po stanju .....	5
Slika 4. Dopusćeni specifični debalans u ovisnosti o brzini rotacije i kvaliteti izvedbe .....	9
Slika 5. Statička neuravnoteženost .....	11
Slika 6. Dinamička neuravnoteženost .....	11
Slika 7. Slikovito prikazano poravnanje dvaju vratila .....	14
Slika 8. Progib vratila ovisno o razmješčaju mase .....	15
Slika 9. Progib vratila unutar stroja.....	16
Slika 10. Parametri centriranja .....	16
Slika 11. Nagib između dvije rotirajuće osi .....	17
Slika 12. Odnos između nagiba, praznine i radnog dijametra .....	17
Slika 13. Različite praznine za isti nagib glavčine .....	17
Slika 14. Jednaka praznina za isti nagib glavčine .....	18
Slika 15. Primjer ofseta ovisno o položaju vratila .....	18
Slika 16. Mogući položaji kod centriranja strojeva s spojkom bez odstojnika.....	19
Slika 17. Pomoćni alati kod pozicioniranja stroja .....	19
Slika 18. Alati za pomoć kod pozicioniranja stroja .....	20
Slika 19. Vrste „soft foot-a“ .....	22
Slika 20. Podložna pločica – lim za podlaganje .....	22
Slika 21. Prikaz laserskog centriranja strojeva s jednim laserom .....	24
Slika 22. Ovisnost ofseta u odnosu na razmak između vratila koja se centriraju .....	26
Slika 23. Prikaz mjerne površine laserskog detektora.....	27
Slika 24. Razlika između stvarnog i mjerenog ofseta .....	27
Slika 25. Primjer centriranja s odstojnikom kraćim od 1000mm .....	27
Slika 26. Izmjereni podaci s laserskog uređaja prilikom izvođenja centriranja .....	28
Slika 27. Moguće vrste nepravilnosti kod remenica .....	31
Slika 28. Montiranje sustava PullAlign za lasersko centriranje na remenice .....	32
Slika 29. Objekti OS Graberje Ivaničko.....	35
Slika 30. Održavanje njihalica za vađenje nafte .....	36

Slika 31. Set elektromotor-pumpa MP1 .....	38
Slika 32. Elektromotor po dolasku u radionicu, rastavljen, repariran i ispitan .....	41
Slika 33. Prikaz za orijentaciju prilikom izvođenja mjerenja na EM1 .....	42
Slika 34. Prikaz postolja i pumpe prije postavljanja elektromotora.....	44
Slika 35. Prikaz temeljnih vijaka, gurača i napajanja elektromotora .....	44
Slika 36. Grubo postavljanje elektromotora na postolje .....	45
Slika 37. Montaža vijaka na spojci.....	46
Slika 38. Stezanje temeljnih vijaka .....	46
Slika 39. Montiranje prijemnika i odašiljača na vratila .....	47
Slika 40. Glavni izbornik na uređaju.....	48
Slika 41. Unos karakterističnih vrijednosti za ovaj slučaj centriranja .....	48
Slika 42. Dobivanje prvih rezultata i parametara necentričnosti .....	49
Slika 43. Postupak detekcije i otklanjanja „soft foota“ .....	50
Slika 44. Dobivene konačne vrijednosti parametara necentričnosti .....	52
Slika 45. Uređaj Rotalignultra .....	53
Slika 46. Specifikacije uređaja Rotalign Ultra .....	54
Slika 47. Termogram motora prije reparature .....	55
Slika 48. Spektar vibracijskog signala PS za x os.....	56
Slika 49. Spektar vibracijskog signala PS za y os.....	57
Slika 50. Spektar vibracijskog signala PS za z os .....	57
Slika 51. Spektar vibracijskog signala SS za x os.....	58
Slika 52. Spektar vibracijskog signala SS za y os.....	59
Slika 53. Spektar vibracijskog signala SS za z os .....	59
Slika 54. Usporedba ukupnih vibracija na PS elektromotora prije i nakon remonta .....	60
Slika 55. Usporedba ukupnih vibracija na SS elektromotora prije i nakon remonta .....	61
Slika 56. Termogrami elektromotora nakon centriranja .....	61
Slika 57. Termogrami pumpe nakon centriranja .....	62



**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Klasifikacija balansnih razreda prema ISO 1940/1 [1] .....	8
Tablica 2. Dopušteno odstupanje izvedenog stanja ovisno o razredu kvalitete [1] .....	10
Tablica 3. Dozvoljene tolerancije centriranja ovisno o broju okretaja stroja [1] .....	30
Tablica 4. Dozvoljene vrijednosti vibracijske brzine o parametrima stroja prema ISO 10816-3 i ISO 10816-7 [1] .....	33
Tablica 5. Tehnički podaci pumpe .....	39
Tablica 6. Tehnički podaci elektromotora .....	39
Tablica 7. Podaci o balansiranju rotora elektromotora [11] .....	42
Tablica 8. Izmjerene ukupne vrijednosti vibracija na EM nakon balansiranja [11] .....	43
Tablica 9. Preporučeni momenti stezanja različitih glavatih vijaka prema DIN 267 .....	51
Tablica 10. Ukupne vibracije na EM Prije reparable .....	55
Tablica 11. Stanje ležajeva EM prije reparable .....	55
Tablica 12. Završno stanje nakon centriranja .....	63

## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

Servisni izvještaj elektromotora: Mato el-d d.o.o.

Dijagnostički izvještaj stanja P 14-15 od 27.02.2015.g: STSi d.o.o.

Dijagnostički izvještaj stanja od 25.04.2016.g: STSi d.o.o.

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$X_d$	-	granica upozorenja
$X_g$	-	granica kvara
$\Delta x$	-	područje u kojem je potrebno izvršiti održavanje
$t$	s, h	vrijeme
$e$	gmm/kg	specifični zaostali debalans
$e_{per}$	gmm/kg	dopušteni zaostali specifični debalans
$U$	gmm	zaostali debalans
$m$	kg	masa
$n$	$\text{min}^{-1}$	brzina vrtnje
$d$	m	promjer
$l$	m	duljina
$\alpha$	°	kut
$f$	Hz	frekvencija
$v_{x,y,z}$	mm/s	vibracijska brzina
$T$	°C	temperatura
$Q$	$\text{m}^3/\text{s}$	protok, kapacitet
$p$	bar	tlak
$P$	kW	snaga
$U$	V	napon
$I$	A	jakost struje
$\cos\varphi$	-	faktor snage

## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu opisano je održavanje po stanju rotacijskih strojeva, a glavna tematika su postupci dinamičkog balansiranja i centriranja.

Cilj rada je prikazati primjenu dinamičkog balansiranja i laserskog centriranja rotacijskih strojeva, upoznavanje sa postupcima, definiranjem svih utjecajnih parametara kao i načinima rješavanja tipičnih problema koji se svakodnevno pojavljuju prilikom održavanja rotacijskih strojeva.

Eksperimentalni dio rada odrađen je u suradnji s poduzećem STSi d.o.o. na Ininoj Otpremnoj stanici Graberje Ivaničko, a sastoji se od praćenja stanja seta elektromotor-pumpa, korektivnog balansiranja rotora elektromotora kod podizvođača te laserskim centriranjem elektromotora i pumpe na postolju, pri čemu su prikazane bitne činjenice, problemi i postupci prilikom izvođenja radova itd.

Ključne riječi: lasersko centriranje, balansiranje, održavanje rotacijskih strojeva

## **SUMMARY**

This thesis describes the maintenance by state of rotating machinery , and the main theme is on the actions of dynamic balancing and centering .

The aim is to demonstrate the application of dynamic balancing and laser centering rotating machines , getting to know the procedures , defining all the significant parameters as well as ways of dealing with typical problems that can occur during daily maintenance of rotating machines .

The experimental part of the work was done in cooperation with the company STSI Ltd. on INA's departure station Graberje Ivaničko, and consists of monitoring set of electric motor - pump , corrective balancing rotor of electric motor with subcontractors and laser centering of electric motor and pump at the stand , where are presented the essential facts , problems and operation of the works and so on.

Keywords: laser shaft alignment, dynamic balancing, maintenance of rotating machines

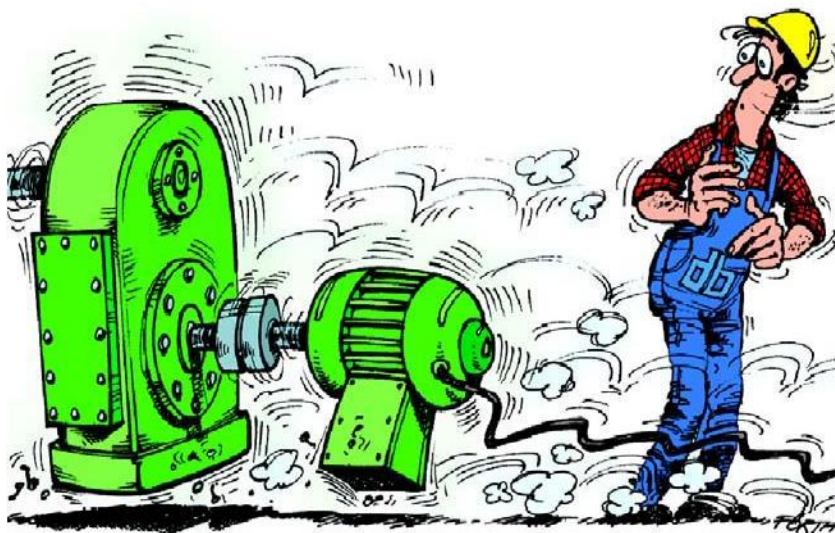
## 1. UVOD

U današnje vrijeme, sve vrste industrije u svijetu unapređuju i optimiraju svoju proizvodnju, tj. teže za što većim smanjenjem troškova proizvodnje, a sve s ciljem povećanja profita, konkurentnosti, pa i samog opstanka na tržištu. Danas je nedopustivo da se potencijalne uštede zanemaruju, već im se posvećuje velika pažnja slika1.

Održavanje pogona nije iznimka, već je prihvaćeno kao bitna komponenta u bilo kojem procesu tvrtke, ali je i trošak bez kojeg nema prave raspoloživosti strojeva, opreme, uređaja ili bilo čega drugog, što je potrebno za realizaciju industrijskih procesa.

Kada se govori o održavanju industrijskih postrojenja te strojeva i opreme koja ona sadrže, podrazumijeva se da je riječ o složenoj tehničkoj disciplini, koja se sastoji od postupaka pregleda, popravka ili poboljšavanja stroja ili opreme, čime joj se otklanja kvar, poboljšava postojeće stanje ili samo produžava radni vijek.

Održavanje je jedan od ključnih faktora, zaslužnih za pouzdano i ekonomično funkcioniranje industrijskih postrojenja i opreme.



Slika 1. Nepravilnost u radu stroja [1]

U ovom radu biti će riječi o održavanju po stanju rotacijskih strojeva, balansiranju i laserskom centriranju strojeva te o dijagnostičkim metodama, na temelju čijih rezultata odlučujemo da li treba poduzimati korektivne radnje. Dakle, može se reći da su to metode bez kojih je danas nezamislivo osiguranje pravilnog rada strojeva i opreme u postrojenjima, s unaprijed mogućim predviđanjem kvarova.

## 2. ODRŽAVANJE ROTACIJSKIH STROJEVA

### 2.1. Vrste održavanja

Postoje dvije osnovne strategije održavanja:

- Korektivno
- Preventivno

**Korektivno održavanje** je održavanje kod kojeg se uređaj održava tek nakon što je nastupio kvar odnosno zastoj. Ovaj način održavanja je najzastupljeniji usprkos cijelom nizu negativnih svojstava koje sa sobom nosi. Za ovaj način održavanja među pukom postoji uvriježena uzrečica „ne diraj dok radi“.

**Preventivno održavanje** je održavanje prilikom kojeg se uređaj održava prije nego nastupi kvar. Ovaj način dokida negativna svojstva korektivnog održavanja, ali sa sobom nosi neka druga negativna svojstva. Preventivno održavanje se može vršiti na nekoliko načina.

Može biti izvedeno kao:

- Planirano održavanje, koje se vrši u zadanim vremenskim intervalima ili na temelju broja prijeđenih kilometara, na temelju broja radnih sati, itd.
- Prediktivno održavanje (održavanje po stanju) kod koje se aktivnosti održavanja realiziraju na temelju stanja dijelova i sustava.

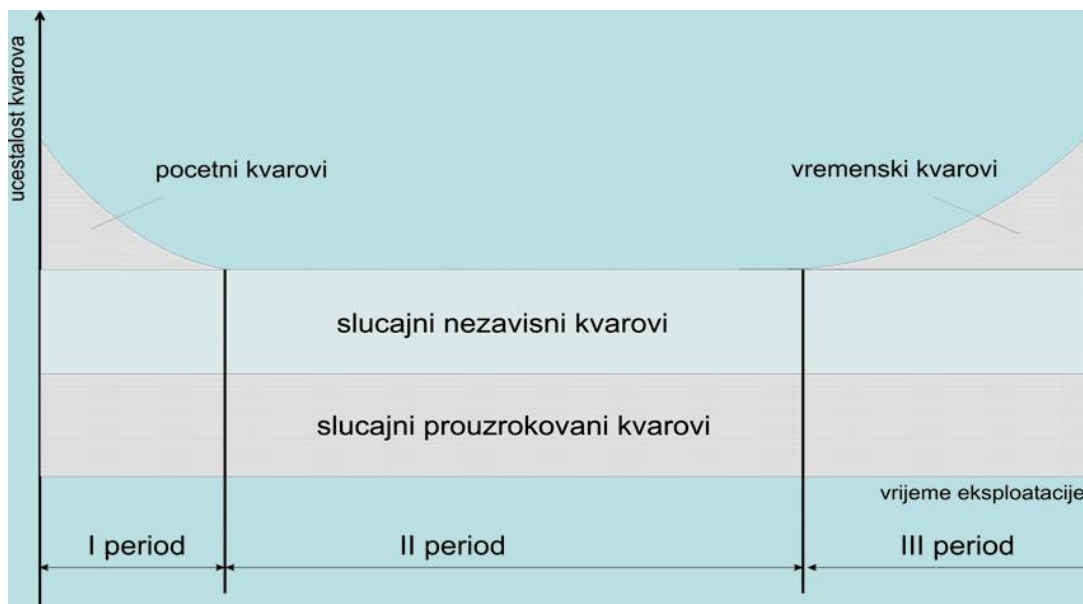
Korektivno održavanje se najčešće realizira neplanski i urgentno, a preventivno održavanje se realizira planski, odnosno kada se za to ukaže potreba.

Preventivno održavanje osiguralo bi velike uštede kada bi bilo moguće predvidjeti da će neki dio zatajiti. Skriveni kvarovi u najnepovoljnijem trenutku mogu izazvati prekid procesa proizvodnje ili pak havariju postrojenja (npr. eksplozija ili požar). Planiranim korektivnim mjerama i uz kvalitetnu pripremu, isto se može spriječiti.



## 2.2. Životni vijek stroja

Životni vijek stroja najzornije prikazuje krivulja kade ili MTTF (*mean-time-to-failure*), koja prikazuje učestalost kvarova u ovisnosti o vremenu slika 2., koja se sastoji od tri faze: faza uhadavanja (početni kvarovi), faza radnog vijeka (slučajni kvarovi) i faza vremenskih kvarova (učestala pojava kvarova).



**Slika 2. Učestalost kvarova tijekom životnog vijeka stroja [2]**

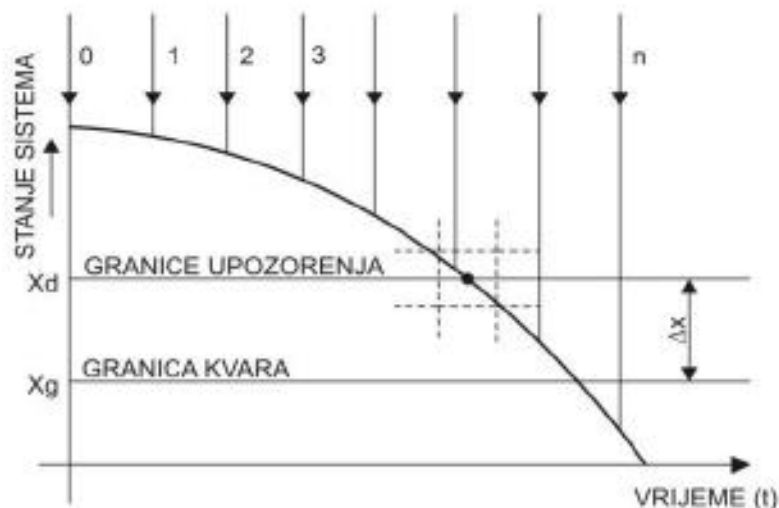
U fazu uhadavanja spadaju uzroci kvarova poput: loše konstrukcije, lošeg materijala i loše montaže. Nakon faze uhadavanja slijedi faza radnog vijeka, tijekom koje je vjerojatnost da će se dogoditi kvar manja u odnosu na prethodnu fazu. Ova faza sastoji se od slučajnih nezavisnih kvarova (utjecaj unutarnjih faktora) i od slučajnih prouzrokovanih kvarova (nastaju zbog lošeg rukovanja i održavanja stroja te uslijed preopterećenja). Na kraju slijedi faza vremenskih kvarova, u kojoj vjerojatnost za pojavu kvara progresivno raste, a uzrok tome je starenje sustava, zamor materijala, trošenje, korozija itd. [2]

### 2.3. Održavanje po stanju rotacijskih strojeva

Održavanje po stanju (*eng. Condition Based Maintenance*, skraćeno CBM) koristi niz tehnologija s ciljem postizanja i održavanja optimalnog pogonskog stanja strojeva i pojedinačnih komponenata tako da se mjerenjem i određivanjem tendencija fizikalnih parametara u usporedbi s poznatim graničnim vrijednostima ili specifikacijama već unaprijed otkriju, analiziraju i otklone potencijalni problemi strojeva, prije nego nastane kvar. [3]

Sustav održavanja po stanju se temelji na očitavanju parametara u stvarnom vremenu, uspoređivanjem dobivenih rezultata i izvođenjem zaključaka kada treba započeti održavanje. Očitavanje parametara rada naziva se nadzor ili monitoring sustava ili uređaja. Nadzorom i praćenjem tijekom početnog perioda utvrđuju se podaci o uređaju u normalnom radu a zatim se prate pokazatelji u realnom vremenu i kada se očitani podaci počnu mijenjati dobiva se jasan signal da nešto nije u redu sa sustavom ili uređajem. [4]

Smisao održavanja po stanju je taj da se ne ide u proces popravaka ili zamjene elemenata/dijelova pojedinog sustava ili stroja, ukoliko analizom parametara dobivenih pregledom stanja nije utvrđeno da su prekoračene određene granične vrijednosti koje su propisane standardom, ili ih je odredio sam proizvođač dijela. Na taj način se dobiva maksimalna iskoristivost elemenata sustava, a zamjena se odgađa sve do vremena dok se za to doista i pokaže potreba slika 3.



Slika 3. Princip održavanja po stanju [4]

Iz Slike 3. uočava se da se stanje promatranog elementa sustava protekom vremena pogoršava u odnosu na početno stanje, što se manifestira na rezultatima provedenih testiranja. Može se provoditi kontinuirano praćenje promjene parametara stanja ili diskretna provjera stanja s verifikacijom stanja, pri čemu je bitna identifikacija nulte provjere stanja i određivanje početnog stanja.

Definirane su, granica upozorenja ( $X_d$ ) i granica kvara ( $X_g$ ) koje se utvrđuju pokusima i prezentiraju se u normativno-tehničkoj dokumentaciji sustava. Područje između granice upozorenja i granice kvara, je područje u kojem treba obaviti održavanje. Treba naglasiti da je veliko pitanje prilikom pregleda, može li se sa sigurnošću utvrditi kojoj smo granici bliže te je bitno da se odmah urgira i ide u akciju održavanja da se ne prijeđe u područje kvara, pogotovo kada je riječ o diskretnom praćenju stanja. Kod kontinuiranog praćenja stanja stvar je nešto drugačija, budući da se odmah zamijećuje trend promjene parametara koji se prate i točno se vidi koliko bi još promatrani sustav mogao ispravno odrađivati svoju funkciju do pojave kvara, s obzirom na tendenciju promjene parametara.

Kod diskretnog praćenja stanja treba odrediti cikluse kontrole, koji se određuju na temelju srednjeg vremena prije nastanka kvara. Prilikom ulaska u područje između granice upozorenja i granice kvara, vrijeme između ciklusa provjere treba skratiti, kako bi se osiguralo od prelaska stanja preko granice kvara. [4]

## 2.4. Dijagnostičke metode stanja rotacijskih strojeva

Najzastupljenije metode koje se koriste kod provjere stanja rotacijskih strojeva su:

- termografija
- analiza vibracija
- analiza pojave udarnih impulsa
- analiza ulja

U pravilu, provjera stanja radi se kombinacijom više različitih metoda, ovisno o slučaju, potrebama i ozbiljnosti situacije.

### 3. DINAMIČKO BALANSIRANJE

Balansiranje je proces kojim se želi poboljšati raspodjela mase krutog rotacijskog tijela, tako da to tijelo rotira u svojim ležajevima bez neuravnoteženih centrifugalnih sila.

Kao i kod laserskog poravnanja osovina ili vratila, balansiranje rotacijskih strojeva će značajno doprinijeti poboljšanju pouzdanosti stroja. Za razliku od poravnanja osovina, pri čemu je moguće centrirati strojeve približno 100%, to nije moguće postići kod balansiranja. Čak i nakon balansiranja, strojevi će i dalje imati neku zaostalu neravnotežu, no koja u znatnoj mjeri ne utječe na rad samog stroja.

Koristeći suvremene sustave moguće je smanjiti i zaostalu neravnotežu nakon balansiranja stroja na vrlo niske razine, što najčešće nije ekonomski isplativo.

Definiranje dopuštenih granica za pojedine strojeve, definirano je ISO standardima (prema normi ISO 1940/1), ovisno o masi te ostalim parametrima stroja. Standardi koriste radnu brzinu stroja i masu rotora prilikom propisivanja graničnih vrijednosti koje se toleriraju. Kvaliteta stanja kreće se u rasponu od G0,4 do G4000, prikazano u Tablici 1. [1]

Za većinu standardnih rotacijskih strojeva poput ventilatora, pumpi i motora zadovoljavajući raspon kvalitete kreće se od G6,3 do G1. Ovisno o individualnom radu postrojenja i puštanju u rad prema svojim uvjetima, tj. specijalne potrebe, neka postrojenja određuju standarde balansiranja unutar tog raspona.

Norma ISO1940/1 striktno ne nalaže da se standardi balansa koriste se za utvrđivanje prihvatljivosti testa za određene vrste rotora, već više služe kao orijentacijske vrijednosti za prihvatljivost debalansa, temeljene na iskustvu i povijesnim mjerenjima i analizama rada stroja. [1]

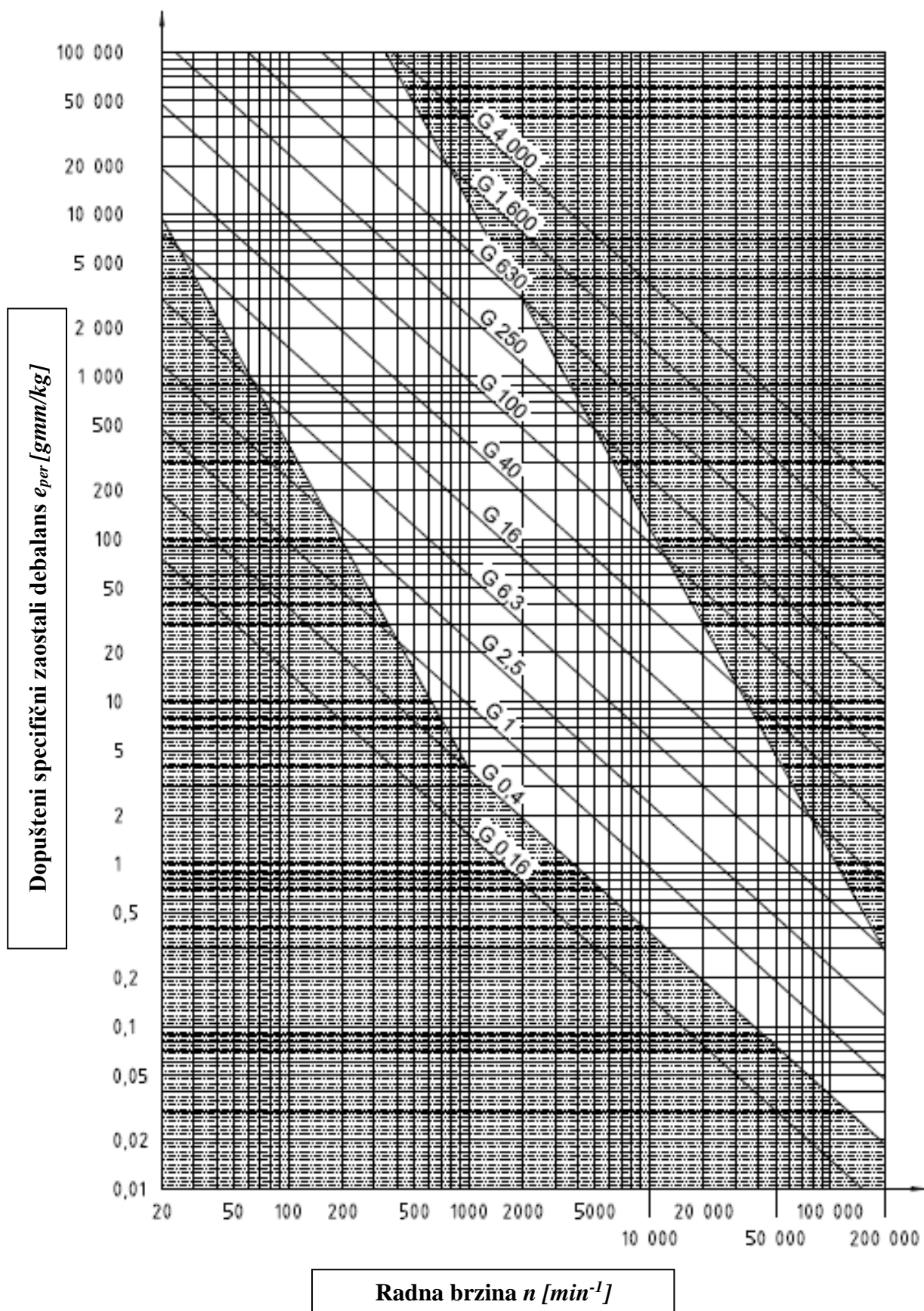
**Tablica 1. Klasifikacija balansnih razreda prema ISO 1940/1 [1]**

Balansni razred G [mm/s]	Tipovi rotora
0.4	- Giroskopi, vretena i armature preciznih mlinova
1.0	- Male električne armature s visokim zahtjevima na balans - Kazetofoni i pogoni gramafona, projektori - Pogoni uređaja za mljevenje visoke preciznosti
2.5	- Rotori plinskih i parnih turbine, turbo generator, turbopuhači i turbopumpe - Srednje i velike električne armature, s visokim zahtjevima balansa - Male el. armature s razumnim zahtjevima kvalitete balansa - Male el. armature koje nisu uključene u razred 6.3 - Ventilatori za cirkulaciju zraka u zatvorenim prostorima - Reduktori koji rade na velikim brzinama (iznad 1000 okr/min)
6.3	- El. armature male mase s primjenom u antivibracijskim sklopovima - Srednji i veliki armaturni sklopovi (s vratilima promjera većeg od 80 mm ), bez posebnih zahtjeva na balans - Komponente obradnih alata i obradni alati općenito - Zamašnjaci, ventilator, centrifugalne pumpe, reduktori za brodove - Cilindri i valjci strojeva za printanje, rotor plinskih turbina
16	- Kardanska vrtila s visokim zahtjevima na kvalitetu balansa - Komponente za poljoprivredne strojeve, drobilice, mlinove - Komponente za primjenu kod automobila i lokomotiva - Koljenasta vrtila s zamašnjacima i kvačilom - Remenski prigoni - Veliki cilindri za papirnu industriju
40	- Felge automobile, poonska vrtila i osovinski sklopovi kod automobila - Koljenasta vrtila s zamašnjakom i spojkom (za 4- taktne motore)
100	- Koljenasta vrtila za dizelske 6- cilindrične motore (brzina klipa 9mm/s) - Kompletni motori za aute i lokomotive
250	- Koljenasta vrtila za kruto montirane 4- cilindrične dizel motore (brzina klipa 9mm/s)
630	- Sva koljenasta vrtila za velike kruto montirane 4- taktne motore - Sva koljenasta vrtila za elastično montirane brodske dizelske motore
1600	- Sva koljenasta vrtila za velike kruto montirane 2- taktne motore
4000	- Sva koljenasta vrtila za velike kruto montirane brodske dizelske motore (s brzinom klipa < 9mm/s)

Dopuštena vrijednost debalansa  $U$  u odnosu sa masom rotora  $m$ , daje *specifični dopušteni debalans* rotora  $e$  kao što je dano formulom:

$$e = U/m \quad (1)$$

Praktično iskustvo pokazuje da za rotore istog tipa dopušteni specifični debalans varira promjenom brzine rotora, što je prikazano slikom 4.[1]



**Slika 4.** Dopušteni specifični debalans u ovisnosti o brzini rotacije i kvaliteti izvedbe [1]

Slika 4. prikazuje ISO 1940:2003 standard, gdje bijelo područje predstavlja generalno korišteno područje osnovano na zajedničkom iskustvu najčešće korištene vrijednosti specifičnog debalansa ovisne o brzini rotacije za standardne tipove strojeva.

Za standardne motore, pumpe, ventilatori i sl. najčešće se koristi razred od 2,5 i 6,3 u iznimnim slučajevima se može koristiti razred 1.0.

Prije poduzimanja bilo kakvih korektivnih radnji za debalans stroja neophodno je utvrditi da li su eliminirani uzroci vibracija kao što su primjerice: labavost i centričnost; tj. treba utvrditi primarne izvore vibracija.[1]

**Tablica 2. Dopušteno odstupanje izvedenog stanja ovisno o razredu kvalitete [1]**

Balansni razred	Dopuštena devijacija
<b>G2.5 – G16</b>	<b>+/- 15%</b>
<b>G1</b>	<b>+/- 30%</b>
<b>G0.4</b>	<b>+/- 50%</b>

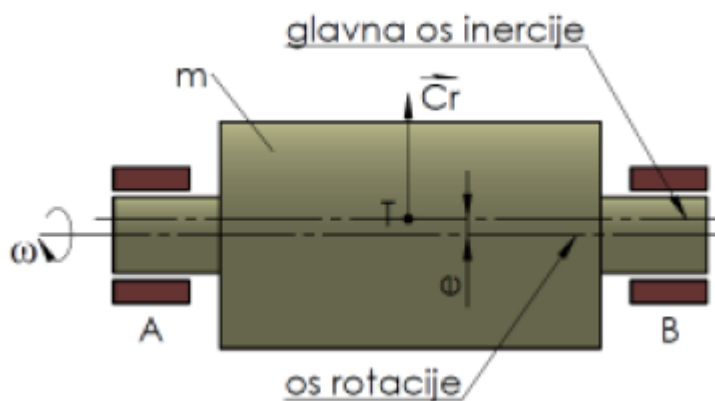
Prema Tablici 2. definirano je dozvoljeno odstupanje ovisno u kojem kvalitativnom razredu se nalazi stroj.

### 3.1. Izvori vibracija na stroju

Izvori vibracija na stroju mogu se razlikovati, ovisno o tome, o kojem je stroju riječ (pumpa, elektromotor, turbina...). Jedan od uzroka može biti debalans rotora, budući da nema idealnog rotora bez ekscentriciteta, tj. postoji neka udaljenost između osi vrtnje i osi inercije. Dakle, najjednostavnije rečeno, neka točka na obodu rotora prilikom vrtnje ima svoju putanju, koja nije kružnica, već elipsa. Oblik te putanje ovisi o geometriji ležajeva i osnim krutostima rotora. Osim debalansa postoje još razni mogući uzroci, npr.: asimetričnost, rezonancija, ležajevi, zračnost i ekscentričnost, problemi vezani uz protok, problemi s električkom, sustav zupčanika, savijanje osovine ili vratila, od kojih su neki specifični za tip stroja, dok je većina generalno primjenjiva na sve strojeve.

### 3.1.1. Statička neuravnoteženost

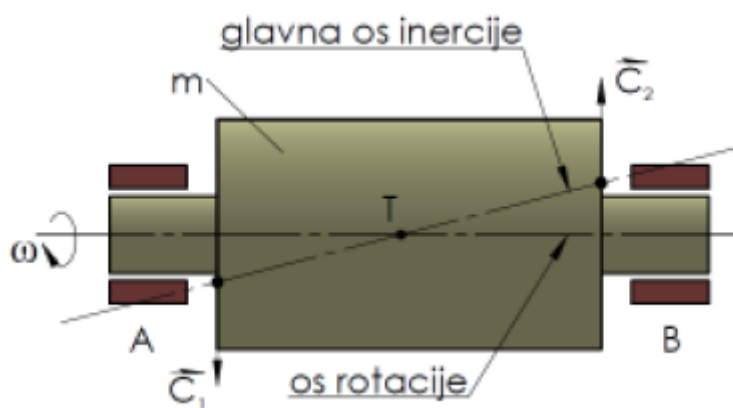
Težište mase rotora nalazi se na udaljenosti „e“ od osi vrtnje, a glavna os inercije paralelna je osi rotacije, slika 5.



Slika 5. Statička neuravnoteženost [5]

### 3.1.2. Dinamička neuravnoteženost

Težište mase rotora nalazi se u osi vrtnje, a glavna os inercije je pod nekim kutem u odnosu na os vrtnje, slika 6.



Slika 6. Dinamička neuravnoteženost [5]



### 3.2. Metode balansiranja

Glavne metoda za balansiranje rotora su: korištenjem statičnog stroja za balansiranje ili prijenosnog sustava za balansiranje, koji eliminira prilično složene izračune koje su potrebni.

U pogonu balansiranje treba izvoditi u normalnim radnim uvjetima i pri normalnoj brzini. Ukoliko je debalans stroja prevelik, što bi pri normalnoj brzini bilo previše opasno, prethodno balansiranje prvo mora biti izvedeno na smanjenom brzinom tako da se smanje i vibracije, nakon čega slijedi konačno balansiranje s normalnom brzinom. Lokacije na rotoru na kojima su pričvršćene ispitne i balans težine moraju biti dostupne.

Demontaža glavnih komponenti između probnih vrtnji nije dozvoljena, jer bi rezultati mjerenja bili neusporedivi. Odgovarajuća točka mjerenja mora biti jednaka u svim vrtnjama i na mjestu gdje vibrometar pokazuje najveću vrijednost vibracije.

Baš kao i sa kotačima automobila, balansiranje se vrši uglavnom dodavanjem balans težine, rjeđe uklanjanjem težine. Stoga je pitanje određivanje lokacije gdje se mora dodati masa, te koliki iznos mora biti.[1]

Najveću pozornost treba posvetiti kritičnoj brzini vrtnje, budući da se rotor mora vrtjeti brzinom većom ili manjom od kritične.

Također je bitno naglasiti da stroj koji se balansira, balansira se za jednu predviđenu radnu brzinu (nominalnu brzinu). Ukoliko tijekom procesa rada stroja dođe do potrebe za nekom drugom brzinom vrtnje (većom ili manjom od nominalne), moguće je da će se opet pojaviti debalans stroja u nekoj mjeri.

Ova pojava dolazi do izražaja kod motor-vretena na obradnim strojevima, jer kako se mijenja brzina vrtnje, tako treba i kontinuirano usklađivati balans mase. To je prema izvoru [5] riješeno:

- a) Elektromagnetskim sustavima balansiranja – Balansirajuće glave u koje su integrirani zvučni AE senzori

- b) Sustavi hidro balansiranja – ubrizgavanje rashladne tekućine ili ulja u 3 ili 4 balansirajuće komore integrirane u balansirajući kontenjer ili direktno spojene prirubnicom na vreteno

### **3.3. Postupci balansiranja**

Dijele se prema geometriji rotora koji se balansira:

- Jedno ravninsko balansiranje za mehaničke sklopove koji imaju , jedan rotor čija je debljina manja od njegovog polumjera , npr. ventilatori , remenice i spojke.
- Dvoravninsko balansiranje se primjenjuje na strojevima koji imaju dva ili više rotora , ili imaju jedan rotor čija širina premašuje njegov radijus. [1]

### **3.4. Sigurnosne mjere prilikom balansiranja**

Svakako se prilikom rada na stroju operateri moraju pridržavati propisanih pravila zaštite na radu , budući da se montiraju mase na rotor koji se vrti velikim brzinama. [1]

### **3.5. Primjena balansiranja u izvedbi hrvatskih tvrtki**

Najjače tvrtke kod nas koje se bave dijagnostikom i održavanjem industrijskih rotacijskih strojeva, npr. pumpi, kompresora, turbina i motora po postrojenjima su:

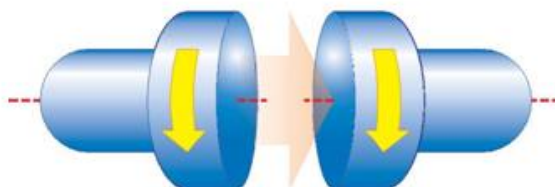
Turbomehanika d.o.o. Kutina, STSi d.o.o. Zagreb i Eltra MG d.o.o. Zagreb, koje prema svojim referencama jako dobro kotiraju.

#### 4. CENTRIRANJE VRATILA

Poravnanje vratila je proces kojim se dva stroja (obično je to motor i pumpa ) pozicioniraju tako, da u trenutku prijenosa snage s jednog vratila na drugo osi rotacije obiju vratila, slika 7. moraju biti kolinearne, a vrijedi za normalne radne uvjete stroja.

Postoje i iznimke, a to su specijalni slučajevi. Neke vrste spojka, na primjer zupčasta spojka i kardansko vratilo, zahtijevaju definirano odstupanje, kako bi se osiguralo ispravno podmazivanje prilikom rada.[1]

Centriranje dvaju strojeva izvodi se dok strojevi miruju.



**Slika 7. Slikovito prikazano poravnanje dvaju vratila [1]**

Iz gornje definicije potrebno je razjasniti sljedeće stvari:

- Sva vratila imaju nekakav progib zbog vlastite težine, zbog čega nisu sasvim ravna. Dakle poravnanje dvaju vratila treba sagledavati u trenutku prijenosa snage s jednog vratila na drugo.
- Ne može se poistovjećivati " poravnanje vratila " s "poravnanjem glavčina spojke". Centriranje se ne izvodi na glavčinama, budući da se njihove osi rotacije često ne poklapaju s osima rotacije vratila . Moguće je i da su glavčine samo grubo obrađene te njihova točnost prijanjanja uz vratilo nije poznata.
- Upotrebom komparatora, rotirajući samo jedno vratilo, mjerenje suprotne glavčine spojke ne određuje os zakretanja obiju vratila.
- Uvjeti koji su bili prisutni tijekom poravnanja vratila, mogu se promijeniti prilikom rada stroja. Razlozi tome mogu biti: porast temperature, naprezanja koja su nastala

spajanjem cijevi, zakretni moment stroja, pomak temelja, ali i razdešenje ležaja. Vrijedi pravilo da se prilikom poravnanja vratila, ona moraju zakretati u normalnom

smjeru vrtnje. Većina pumpi, ventilatora i motora imaju istaknutu naljepnicu na kućištu, koja pokazuje smjer vrtnje.[1]

#### 4.1. Metode centriranja vratila

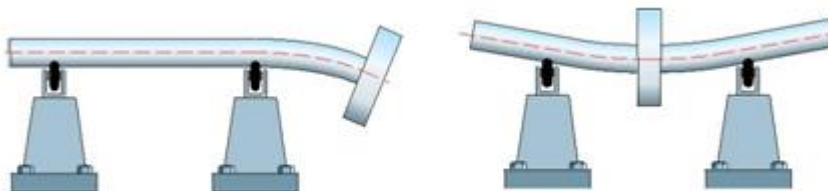
Postoje tri metode:

- Poravnanje „na oko“
- Centriranje pomoću komparatora
- Lasersko centriranje

Danas se u većini slučajeva koristi metoda laserskog centriranja, koja je najbrža, najučinkovitija i najkvalitetnija, koja će biti opisana.

#### 4.2. Progib vratila unutar stroja

Koliki je progib vratila unutar stroja ovisi o nekoliko faktora, kao što su: krutost vratila, količina težine raspoređene između oslonaca, konstrukciji ležajeva i o distance između oslonaca, slika 8.[1]



Slika 8. Progib vratila ovisno o razmještaju mase [1]

Za male rotacijske strojeve (koji imaju kratka vratila) pojava progiba unutar stroja je zanemariva, a time se i u praksi može ignorirati. Kod velikih strojeva (strojevi s dugim vratilima), npr. turbine generatora, veliki ventilatori..., progibna krivulja se mora uzeti u obzir.

U parnoj turbini, na primjer vratila su obično centrirana unutar 1/100 mm, a na sredini jednog vratila zbog težine koju nosi, može biti progib i do 30 mm (niže u odnosu na krajeve). [1]

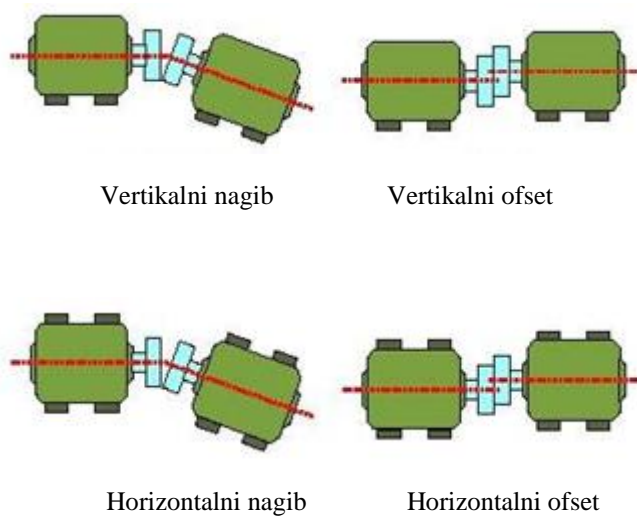


**Slika 9. Progib vratila unutar stroja[1]**

#### 4.3. Parametri centriranja

Da bi se definiralo stanje odstupanja strojeva od centriranog položaja, koriste se: nagib jedne osi od druge, ofset i praznina.

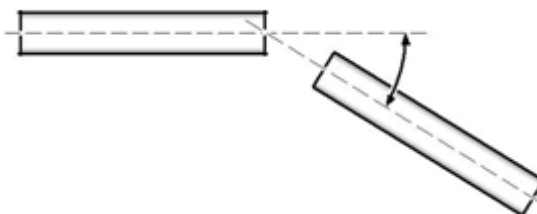
Prema slici 10. prikazani su: vertikalni nagib, vertikalni ofset, horizontalni nagib i horizontalni ofset [1]



**Slika 10. Parametri centriranja [1]**

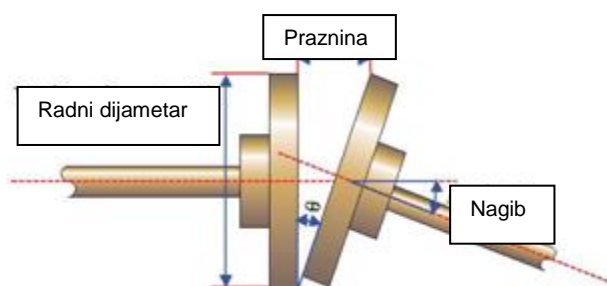
#### 4.3.1. Nagib, ofset između osi i praznina između glavčina spojke

Nagib se opisuje kao kut između dvije rotirajuće osi, slika 11.



**Slika 11. Nagib između dvije rotirajuće osi [1]**

Nagib se može izraziti izravno kao kut u stupnjevima ili mili radijanima, a može se pak i izraziti u jedinici  $mm/m$ , što pak stavlja u odnos prazninu između glavčina spojke i duljinu dijametara spojke (radnog dijametara) slika 12. [1]



**Slika 12. Odnos između nagiba, praznine i radnog dijametara [1]**

Slika 13. i slika 14. prikazuju odnose nagiba i praznine s obzirom na različite promjere glavčina spojki.



**Slika 13. Različite praznine za isti nagib glavčine [1]**

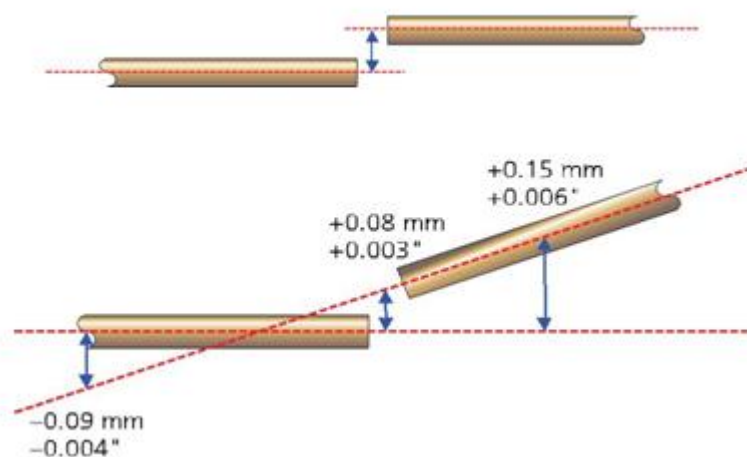


**Slika 14. Jednaka praznina za isti nagib glavčine [1]**

Značajka praznina između glavčina, sama po sebi ne definira ništa, već kad se stavi u odnos s radnim dijametrom, dobiva se vrijednost koja se može usporediti s tabličnim podacima.

U praksi se najčešće koristi značajka ofset, preko koje se sve određuje.

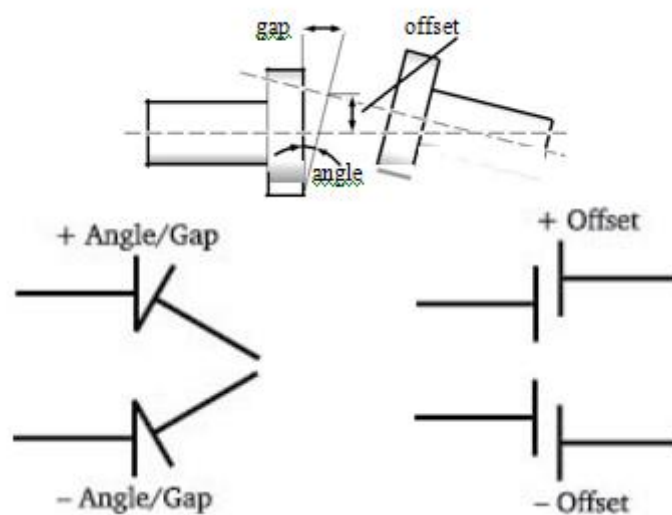
Ofset se definira kao distanca između dvije osi rotacije. Mjeri se uvijek vertikalno u odnosu na onu os rotacije koja je u horizontali. Kod međusobno nagnutih osi ofset postiže različite vrijednosti, ovisno na kojem se mjestu mjeri, a kod paralelnih osi ofset je konstantan, slika 15. [1]



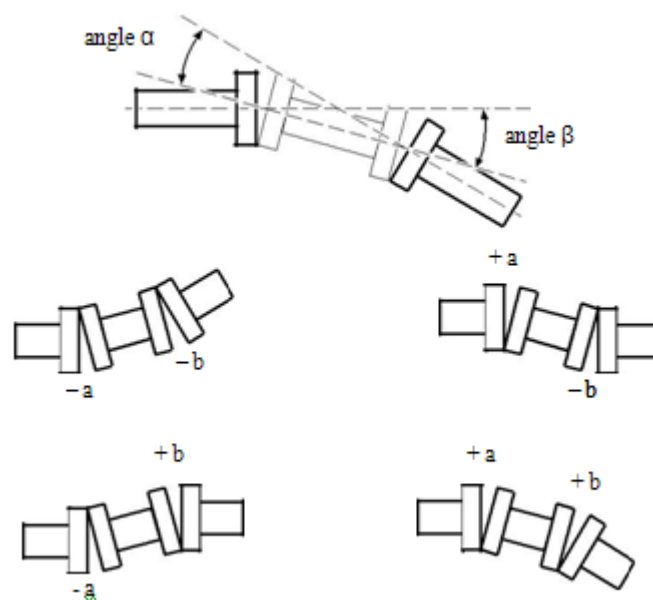
**Slika 15. Primjer ofseta ovisno o položaju vratila [1]**

#### 4.3.2. Postupanje ovisno o vrsti spojke

Bitna razlika je u postupku ovisno o tome da li imamo standardnu spojku, ili se između glavčina spojke nalazi pomoćni element (odstojnik) koji premošćuje potrebnu udaljenost, slika 16. i slika 17. [1]



Slika 16. Mogući položaji kod centriranja strojeva s spojkom bez odstoynika[1]

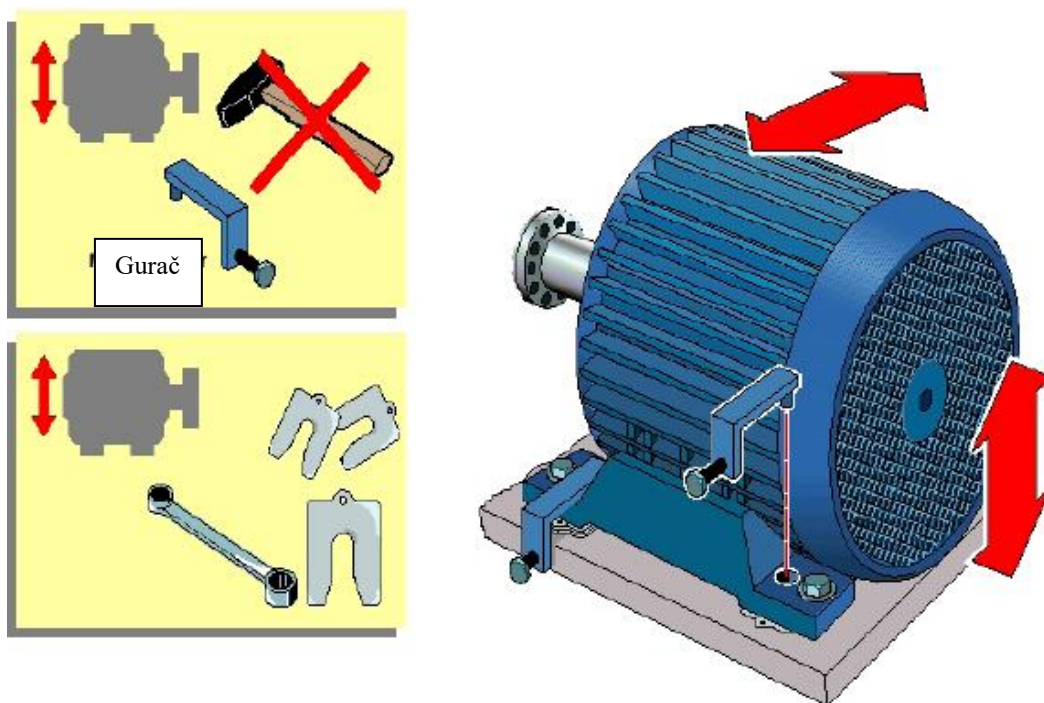


Slika 17. Pomoćni alati kod pozicioniranja stroja [1]



#### 4.4. Priprema centriranja

Da bi se uspješno centriralo prvo je potrebno osigurati mogućnost pomicanja stroja po potrebi: ovo uključuje vertikalnu mobilnost prema gore (koristeći odgovarajuću opremu za dizanje) i prema dolje, ukoliko stroj treba sniziti, kao što je često slučaj. To se može postići umetanjem 2 do 4 mm podložaka ispod nogu oba stroja na prvoj instalaciji ( u praksi se ovo samo iznimno koristi). Horizontalno pozicioniranje strojeva se najbolje provodi pomoću vijaka „gurača“ ili hidraulične opreme, odnosno sve što omogućuje finu kontrolu kretanja u sporo i kontinuirano. Pomicanje čekićem ne omogućava precizno pozicioniranje, a i može se oštetiti stroj, slika 18. [1]



Slika 18. Alati za pomoć kod pozicioniranja stroja [1]

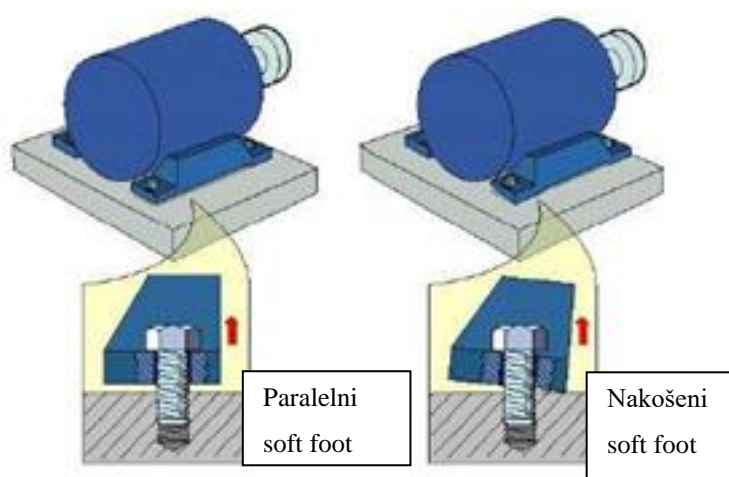
#### 4.5. Upute za postavljanje stroja

- Instaliranje industrijskih strojeva kao što su pumpe, reduktori ili kompresora i sl. zahtijeva pridržavanje nekih općih pravila.
- Pogonjena jedinica obično se instalira prva, a glavni pokretač ili motor onda je usklađen s vratilom pokretne jedinice

- Ako je pogonjena jedinica upravljana preko reduktora, onda se prvo centrira reduktor na pogonjenu jedinicu, a zatim reduktor na pogonsku jedinicu
- Priprema temelja i površina na koje se stroj montira, pregled nogu stroja, postolja je od najveće važnosti! Uspješno poravnanje se ne može lako postići na drugi način!
- Korištenje kvalitetnih podložaka
- Prije sastavljanja opreme za centriranje dobro je vizualno sve pregledati, jer oči su prvi mjerni sustav!
- Provjeriti da li pumpa / motor sjedi čvrsto na temeljnoj pločom. (provjera „soft foota“)
- Broj podložnih pločica svesti na minimum tj. ne više od 3 podloške ispod noge stroja
- Osigurati ispravno centriranje, tako da prilikom rada vratila strojeva u njihovim ležajevima budu centrirana uskladu s proizvođačevim tolerancijama.
- Uvijek provjeriti proizvođačeve upute za centriranje prije početka rada! - Rast temperatura može zahtijevati posebno definirane "hladne" ofsete.
- Osigurati da bilo koji cjevovod koji je pričvršćen na strojeve mora biti ispravno podložen, da ne unosi naprezanja. [1]

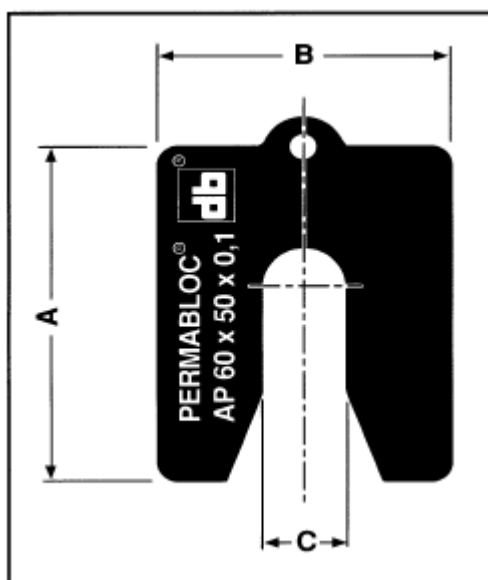
#### **4.6. Korekcija „soft foot-a“**

Bitan dio svakog uspješnog postupka centriranja je utvrđivanje i ispravljanje mekih stopala („soft foot“). Meko stopalo stroja se može usporediti s klimavim stolcem. Stroj stoji drugačije svaki put kad se izvrši usklađivanje, a vrijednosti mjerenja pokazuju da je stroj još uvijek „na vagi“ pa je jako teško postići zadovoljavajuće stanje. U osnovi postoje dvije vrste mekih stopala kako je prikazano u donjoj slici, slika 19.[1]



**Slika 19. Vrste „soft foot-a“ [1]**

Paralelni „soft foot“ ukazuje na to da su temeljna ploča i stopala stroja paralelni – korekcija je moguća jednostavnim dodavanjem podložnih pločica odgovarajuće debljine, slika 28.



**Slika 20. Podložna pločica – lim za podlaganje [1]**

Nakošeni „soft foot“ je složenije za dijagnosticirati i ispraviti. Jedno rješenje je da se koriste konusne podložne pločice za popunu kutnog razmaka između podnice i stopala. U krajnjem slučaju, potrebno je demontirati stroj i ravno izbrusiti stopala.

#### **4.6.1. Postupak otklanjanja „soft foot-a“**

- 1) Provjeriti sva četiri stopala stroja, ako bilo koja noga pokazuje više od 0,08 mm odstupanja, treba to propisno ispraviti.
- 2) Ispitati najveći ( ili dva najveća ako su ista ) mekana stopala s mjernim listićima za utvrđivanje vrste mekih stopala.
- 3) Ispraviti dijagnosticirano stanje podlagajući samo jednu nogu
- 4) Ako su sve noge u okviru tolerancije započeti postupak centriranja[1]

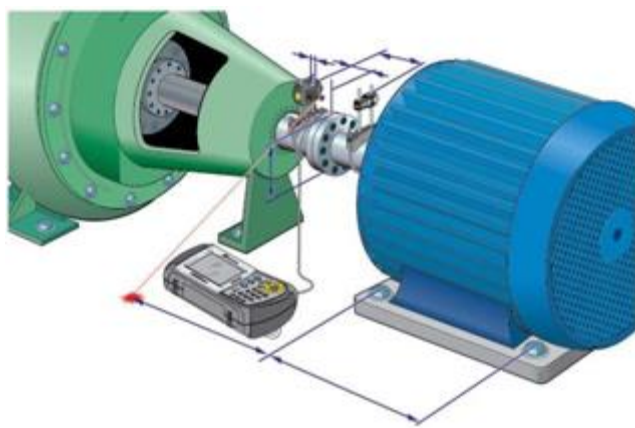
## 5. LASERSKO CENTRIRANJE

Lasersko centriranje strojeva je postupak kojim je moguće izvesti sljedeće operacije:

- 1) Centriranje (poravnanje) vratila ili osovina
- 2) Poravnanje remenica
- 3) Mjerenja geometrijskih značajki
  - Kontrola ravnoće površina
  - Provjera kutnosti
  - Određivanje paralelizma
  - Mjerenje ovalnosti
  - Postavljanje u horizontalu [1]

### 5.1. Lasersko centriranje vratila

Postoje dvije vrste laserskih sustava. Sustav s jednim laserom koristi jednu lasersku zraku koja se projicira s odašiljača na prijemnik, koji ujedno zraku vraća natrag. Druga vrsta laserskog sustava koristi dva lasera svaki s ugrađenim detektorima. [1]



**Slika 21. Prikaz laserskog centriranja strojeva s jednim laserom [1]**

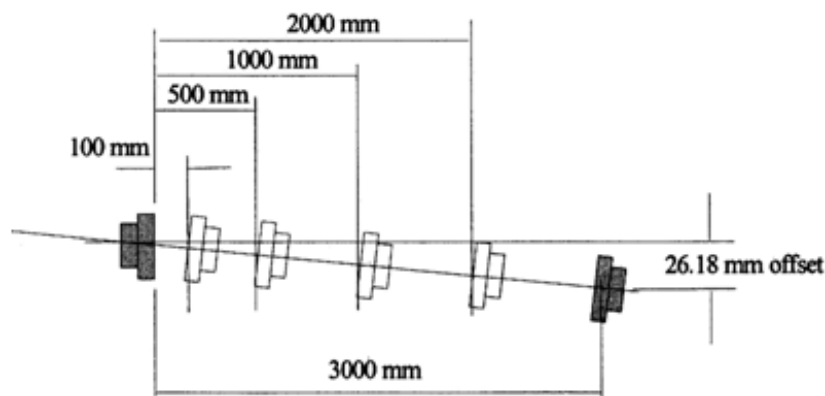
Laserski sustav s jednim laserom kao što je prikazano na slici 21. ima niz prednosti koje su poboljšavaju svestranost i upotrebljivost sustava. [1]

- Mogućnosti proširenja mjerenja - samo s jednim laserom moguće je proširiti raspon detektora sustava, u slučaju velikih odstupanja od prihvatljivih granica za centriranje.
- Sposobnost centriranja dvaju nepovezanih strojeva – tehnologija s jednim laserom omogućuje centriranje strojeva koji nemaju odstoynik između glavčina spojke ili nisu vezani na svom mjestu. U ovom slučaju svaki stroj može se okretati nezavisno. To je posebno korisno kada se koriste velike spojke s dugačkim odstoynicima prilikom centriranja velikih strojeva kao što su turbine, tj. kada jedan ili oba stroja nije lako okretati.
- Korištenje jednog kabela - samo jedan (ili nijedan) kabel je potreban. To je posebno korisno pri dugim razmacima između vratila, jer dugi kabeli mogu utjecati na centriranje jer se mogu zapetljati.
- Samo jedan laser za podešavanje [1]

#### **5.1.1. Objašnjenje proširenja mogućnosti mjerenja**

Teoretski rečeno, bilo bi korisno imati statički detektor s osjetnom površinom promjera 500 mm, no sustav bi bio neupotrebljiv samo zbog veličine i težine. Optimalan kompromis je dinamičko produljenje osjetne površine detektora, ako je to potrebno. To drži sustav na minimalnoj veličini i težini, a samim tim i povećava uporabljivost sustava u teško dostupnim područjima.[1]

Na primjeru centriranja pogona rashladnog tornja, koji ima između glavčina spojke odstoynik duljine 3000 mm, biti će objašnjeno što sve utječe na izvedivost i točnost laserskog centriranja. Slika 30. prikazuje ograničenja koja se nameću u slučaju centriranja vratila koja imaju spojne odstoynike velike dužine. [1]



**Slika 22. Ovisnost ofseta u odnosu na razmak između vratila koja se centriraju [1]**

Dakle, za kutno odstupanje između spojnih površina od 0.5 stupnjeva, utvrđeno je sljedeće:

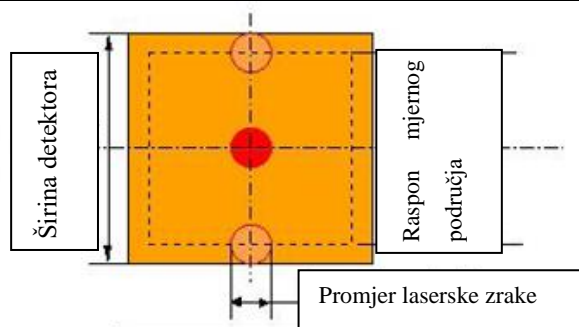
- Na razmaku od 100 mm između spojnih površina, nastati će ofset od 0,87 mm između simetrala vratila, koji se bez problema mjeri laserskim sustavom.
- Ako se udaljenost između spojnih površina povećava do 500 mm ofset simetrali biti će 4.36 mm, izvan raspona mjerenja većine statičkih laserskih detektora.
- Kada se udaljenost ista udaljenost poveća do 1000 mm, nastaje ofset od 8.72 mm, a povećanjem udaljenosti na 3000 mm nastaje ogroman ofset od 26.18 mm. [1]

To se ispostavilo za nagib simetrala vratila od samo 0,5 stupnjeva!

Ovaj veliki pomak se može mjeriti samo s detektorom proširenoga raspona mjerenja, jer bi mjerna površina statičkog detektora trebala biti promjera oko 60 mm da bi se registrirao ovaj ofset.

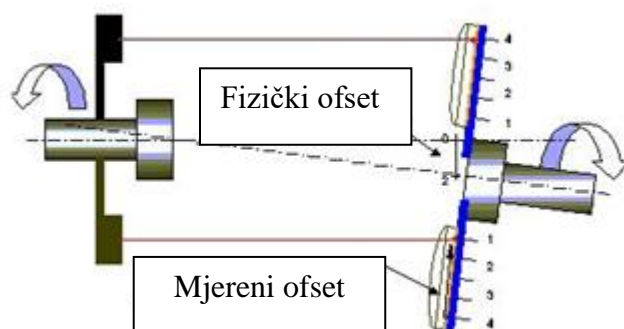
Razlog za takav veliki statički detektor može se objasniti na sljedeći način:

Radna površina detektora manja je od ukupne površine detektora. Na primjer, ako je detektor površine 20 x 20mm, a laserska zraka je 4,0 mm u promjeru, onda je maksimalna korisna mjerna površina 16 x 16mm kao što je prikazano u nastavku, slika 23. [1]



**Slika 23. Prikaz mjerne površine laserskog detektora[1]**

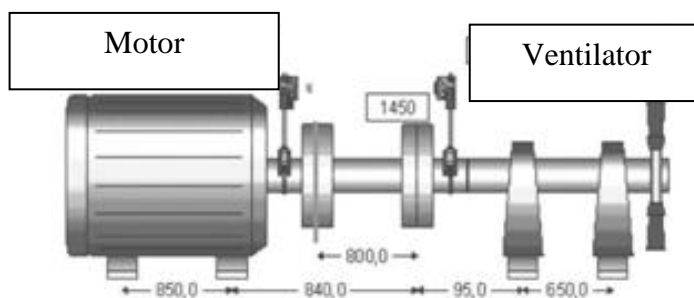
Kao i kod komparatora, laserski sustav mjeri dva puta veći ofset od stvarnog fizičkog ofseta između osi dva vratila, slika 24.



**Slika 24. Razlika između stvarnog i mjerenog ofseta [1]**

Za mjerenje fizičkog pomaka od 2,0 mm potreban je detektor s mjernim rasponom od 4,0mm.

Za slučaj da se centriraju vratila s dužinom spojnog odstoynika manjom od 1 metra, također je bitno da se koristi dinamički detektor, slika 25. [1]



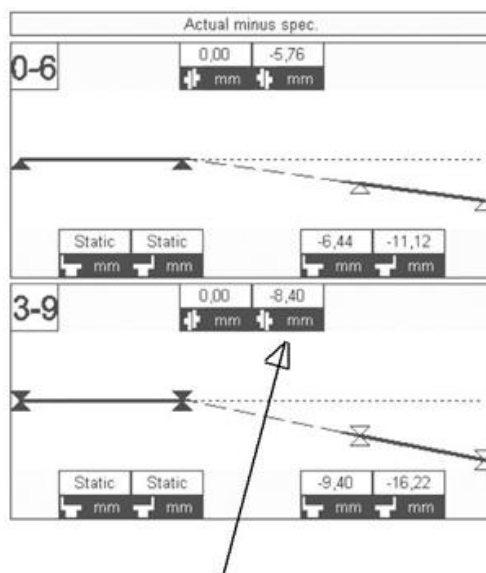
**Slika 25. Primjer centriranja s odstoynikom kraćim od 1000mm [1]**



Kako je najveći ofset iznosi -8.4mm prema slici 26. potrebna veličina mjernog raspona detektora je sljedeća: [1]

(Mjereni ofset x 2) + promjer laserske zrake

$$(8.4 \text{ mm} \times 2) + 4 \text{ mm} = 20.8 \text{ mm}.$$



**Slika 26. Izmjereni podaci s laserskog uređaja prilikom izvođenja centriranja [1]**

Ovisno o specifičnim zahtjevima centriranja s kojima se susrećemo iz dana u dan, sposobnost proširenja mjernog područja detektora sustava mogao biti jedan najutjecajnijih čimbenika prilikom odabira i kupovine mjernog sustava . [1]

### 5.1.2. Efekti laserskog centriranja strojeva

Dokazano je da kod brzine vrtnje strojeva od 3000 o/min, postojanje ofseta u iznosu od 0,06“ (1,524mm) dovodi do povećane potrošnje energije između 5% - 8%. [1]

Nakon dobro obavljenog centriranja laserskim uređajem, smanjuje se u znatnoj mjeri pojava vibracija, porast temperature na strojevima, a samim time se produljuje vije trajanja brtvi, ležaja i svih drugih elemenata.

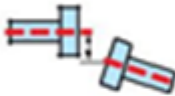
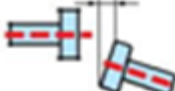

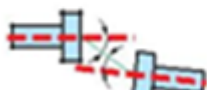
Tu se vidi koliko se zapravo štedi na održavanju te se eliminiraju razni problemi, ukoliko je stroj dobro postavljen na samom početku, što je posebno uočljivo kod velikih strojeva, koji rade na velikim okretajima i prenosi se veliki radni moment. [1]

### **5.1.3. Preciznost centriranja**

Za industrijske strojeve veličina tolerancije na centriranje funkcija je nekoliko varijabli, poput:

Broj okretaja (brzina rotacije), iznos snage, vrsta spojke, dužina pomoćnog elementa spojke (ako ga ima), konstrukcija spojke. Vrijednosti dozvoljenih tolerancija dane su tablicom, Tablica 3.

Tablica 3. Dozvoljene tolerancije centriranja ovisno o broju okretaja stroja [1]

	[o/min]	Tolerancije			
		Metričke [mm]		Inči [milli]	
„Soft foot“	vrijedi za sve	0,06 mm		2,0 mils	
<b>Kratke fleksibilne spojke</b>		Prihvatljivo	Odlično	Prihvatljivo	Odlično
<b>Dozvoljeni Ofset</b>		OK	😊	OK	😊
	600			9,0	5,0
	750	0,19	0,09		
	900			6,0	3,0
	1200			4,0	2,5
	1500	0,09	0,06		
	1800			3,0	2,0
	3000	0,06	0,03		
	3600			1,5	1,0
	6000	0,03	0,02		
	7200			1,0	0,5
<b>Dozvoljena kutnost</b> (praznina između glavčina spojke u odnosu na 100mm promjera ili na 10“ promjera)	600			15,0	10,0
	750	0,13	0,09		
	900			10,0	7,0
	1200			8,0	5,0
	1500	0,07	0,05		
	1800			5,0	3,0
	3000	0,04	0,03		
	3600			3,0	2,0
	6000	0,03	0,02		
	7200			2,0	1,0
<b>Spojna vratila i spojke s membranama</b>	600			3,0	1,8
<b>Ofset</b> ( po 100mm duljine spojnog vratila ili po inču duljine spojnog vratila) 	750	0,25	0,15		
	900			2,0	1,2
	1200			1,5	0,9
	1500	0,12	0,07		
	1800			1,0	0,6
	3000	0,07	0,04		
	3600			0,5	0,3
	6000	0,03	0,02		
	7200			0,3	0,2
<b>Dozvoljena kutnost [mrad]</b>	600	mrad		3,0	1,8
	750	2,5	1,5		
	900			2,0	1,2
	1200			1,5	0,9
	1500	1,2	0,7		
	1800			1,0	0,6
	3000	0,7	0,4		
	3600			0,5	0,3
	6000	0,3	0,2		
	7200			0,3	0,2

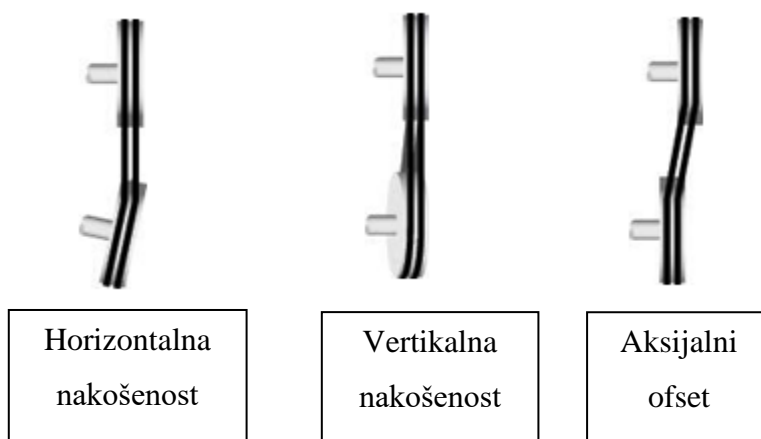
## 5.2. Lasersko poravnanje remenica

Uporaba remenskih prigona predstavlja značajan postotak svih industrijskih aplikacija osobito kada je brzina pogonskog i gonjenog stroja različita.

Najčešća greška prilikom instalacije remenskog prigona je nepodudaranje pogonske i gonjene remenice. Obično nije instalateru nedostaje odgovarajući alat s kojom bi se izvršilo potrebno poravnanje. Već dugi niz godina špaga ili ravnalo su bili jedini dostupni alat s kojim bi se obavio posao. Obje metode se oslanjaju isključivo na vid instalatera. [1]

### 5.2.1. Vrste nepravilno poravnatih remenica

Tri osnovna parametra opisuju nepravilnost kod postavljenih remenica, a to su: Vertikalna nakošenost, horizontalna nakošenost i aksijalni ofset. Ova stanja mogu se pojaviti u jednoj ili svim mogućim kombinacijama, slika 27. [1]



**Slika 27. Moguće vrste nepravilnosti kod remenica [1]**

### 5.2.2. Procedura poravnanja remenica

- 1) Ispraviti vertikalnu nakošenost, podlaganjem pokretnog stroja. Korekcije su vidljive na reflektoru prilikom podešavanja
- 2) Ispraviti horizontalnu nakošenost, prilagodbom pokretnog stroja. Korekcije su vidljive na laserskom odašiljaču prilikom podešavanja
- 3) Ispraviti aksijalni ofset, aksijalnim pomicanjem stroja [1]

### 5.2.3. Upotreba PullAlign uređaja

PullAlign uređaj sastoji se od: lasera i reflektora s magnetskim držačima za omogućavanje montiranja na lice remenice, slika 28.

Svaka jedinica označena s mjernim linijama kako bi se omogućilo fino podešavanje pomičnog stroja s ciljem ispravka nepravilnosti položaja.

Laser odašilje lasersku zraku na reflektor montiran na suprotnoj remenici, ( laser treba montirati na stacionarni stroj). Reflektor pokazuje neku vertikalnu nakošenost koja je prisutna i istovremeno pokazuje iznos aksijalnog pomaka. Laser prikazuje horizontalnu nakošenost.

[1]



**Slika 28. Montiranje sustava PullAlign za lasersko centriranje na remenice [10]**

### 5.3. Uzroci kvara strojeva

Prema statistici, više od 50% kvarova na strojevima, a samim time i zastoja, dolazi zbog loše centriranosti strojeva. [1]

To može imati za posljedicu:

- pojavu vibracija na stroju – samim time dolazi do zamora komponenti stroja
- oštećenja spojke – pokazalo se da čak i fleksibilne spojke, koje su predviđene za kompenzaciju radijalnog ofseta u slučaju loše centriranosti stvaraju velike reakcijske sile, čak 1,2kN po mm radijalnog ofseta, što se prenosi na ležajeve
- trošenja brtvi - povećanje temperature uslijed necentriranosti i struganje vratila po brtvi skraćuju njen vijek trajanja, budući da su izrađene na toleranciju od 2μm.
- oštećenja ležajeva – čim dođe do trošenja brtve, kroz ulje do ležaja dolazi vanjska prljavšina i prašina, što dovodi do zaribavanja [1]

### 5.4. Detekcija loše centriranosti strojeva

Analizom vibracija može se kvalitetno ispitati stanje stroja, a rezultati analize se za ocjenu stanja uspoređuju s tablicom Tablica 4.

**Tablica 4. Dozvoljene vrijednosti vibracijske brzine o parametrima stroja prema ISO 10816-3 i ISO 10816-7 [1]**

DIN ISO 10816-3		Group 1		Group 2	
Machine type	Large machines 300 kW < P < 50 MW		Medium sized machines 15 kW < P < 300 kW		
	Motor H > 315 mm		Motor 160 mm < H < 315 mm		
Foundation	flexible	rigid	flexible	rigid	
Velocity $v_{ms}$ mm/s rms	11,0	D		D	
	7,1	C		C	
10 – 1000 Hz $r > 600$ rpm	4,5	B		B	
2 – 1000 Hz $120 < r < 600$ rpm	3,5	A		A	
	2,8	A		A	
	2,3	A		A	
	1,4	A		A	
		A	B	C	D
		Newly commissioned machines   Unrestricted long term operation   Restricted long term operation   Vibration causing damage			

DIN ISO 10816-7		Category 1		Category 2		
Pump type	Rotodynamic pumps with high reliability, availability or security requirements.		Rotodynamic pumps for general or less critical applications.			
	Power		Power			
		< 200 kW	> 200 kW	< 200 kW	> 200 kW	$r < 600$ rpm 0.5 rpm 1.0 rpm 2.0 rpm
Velocity $v_{ms}$ mm/s rms	7,6	D		D		Displacement $s_{rms}$ μm
	6,5	C		C		
10 – 1000 Hz $r > 600$ rpm	5,0	B		B		
2 – 1000 Hz $r < 600$ rpm	4,0	A		A		
	3,5	A		A		
	2,5	A		A		130
		A		A		80
		A		A		50
		A		A		A
		A	B	C	D	
		Newly commissioned machines   Unrestricted long term operation   Restricted long term operation   Vibration causing damage				

U slučaju oštećenja ležaja, javljaju se vibracije zbog visoke frekvencije koju stvara oštećeni element prilikom rotacije. Same vibracije mogu nastati zbog još na primjer debalansa stroja itd., ali i to se vibro uređajem otkrije.

Vibro uređaj se spaja na mjerne točke na stroju.

Sljedeći alat za detekciju poremećaja je termografska kamera. Na temelju dobivenih termograma, da se usporediti postoji li trend povećanja temperature u odnosu na prošla mjerenja.

Ukoliko nisu dostupni ovi alati i vizualnim pregledom se može utvrditi da nešto nije u redu, no dok se vizualno uoči mjesto kvara, već može doći do ozbiljnije havarije, npr.: [1]

- Puknuće temeljnih vijaka
- Curenje ulja iz brtvenice
- Puknuće vijaka na spojci



## 6. PRIMJER DINAMIČKOG BALANSIRANJA I LASERSKOG CENTRIRANJA

Praktični dio rada odrađen je na području primjene dinamičkog balansiranja i laserskog centriranja rotacijske opreme, a u suradnji s firmom STSi d.o.o., (Služba tehničke kontrole i dijagnostike, Odjel za termografiju, vibracije i laserska centriranja) iz Zagreba, na Ininoj Otpremnoj stanici u Graberju Ivaničkom, slika 29.



Slika 29. Objekti OS Graberje Ivaničko



### 6.1. Djelatnost Otpremne stanice Graberje Ivaničko

Uz skladištenje i transfer nafte, temeljna djelatnost je održavanje rudarske opreme i instalacija, njihalica s dubinskim sisaljka, elektro postrojenja i instalacija, toplovodnih kotlovnica, održavanja opreme u naftaplinskom Sektoru istraživanja i proizvodnje nafte i plina, slika 30. [7]



Slika 30. Održavanje njihalica za vađenje nafte [7]

### 6.2. Opis problema

Na području Otpremne stanice, nalazi se uz ostale i objekt pumpaona nafte. Pumpaona nafte je malo zasebno postrojenje koje se sastoji od 4 instalirana seta (elektromotor-pumpa), gdje se obavlja prepumpavanje sirove nafte, koja dolazi s okolnih bušotina i pretače se u velike spremnike.

Nad navedenim strojevima, vrše se dijagnostička ispitivanja jednom godišnje, a ona sadrže mjerenje i analizu vibracija te termografska ispitivanja. Sukladno Zakonu, temeljem Pravilnika o najmanjim zahtjevima sigurnosti i zaštite zdravlja radnika te tehničkom nadgledanju postrojenja, opreme, instalacija i uređaja u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, NN 39/06 i NN 106/07, propisan je rok kontrole protueksplozijske zaštite za strojeve koji se nalaze u ovakvim prostorima, što propisuje Ex-agencija<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Ex-agencija - državna ustanova koja se bavi tehničkim nadzorom postrojenja te poslovima ispitivanja i certifikacije opreme u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom.

Prema dobivenim informacijama od strane glavnog inženjera održavanja postrojenja, propisan je rok pregleda protueksplozijske zaštite na elektromotorima svakih šest godina, s time da se minimalno jednom u tri godine izvrši dijagnostika stanja termografijom i analizom vibracija.

Služba tehničke kontrole i dijagnostike, vrši dijagnostiku jednom godišnje.

Prema nalazu dijagnostičkog izvještaja od 27.02.2015.g. *Izvještaj P14-15* (Prilog II), stanje ukupnih vibracija na elektromotoru bilo je klasificirano u zonu A prema standardu ISO 10816-3, što je jako dobro, dok je stanje oba ležaja na temelju analize vibracija ocijenjeno dobrim, kao i termografsko ispitivanje cijelog elektromotora ocijenjeno je zadovoljavajućim.

Vrijednosti ukupnih vibracija na pumpi klasificirane su zonom B također prema istom standardu, dok je stanje ležajeva pumpe na temelju analize vibracija ocijenjeno dobrim. Termografsko ispitivanje pumpe također je bilo zadovoljavajuće.

Kako je šestogodišnji rok kontrole bio pred istekom za dva elektromotora u pumpaoni, poduzeta je radnja skidanja te kompletnog pregleda i obnove istih kod podizvođača, firme Mato el-d d.o.o., nakon čega su vraćeni na svoje postolje te je odrađeno lasersko centriranje setova.

Nadalje će biti opisani radovi izvršeni samo na jednom elektromotoru koji ima oznaku na postrojenju EM1, serijskog broja 944623, slika 31.



**Slika 31. Set elektromotor-pumpa MP1**

Označeno na slici 31:

- 1- elektromotor EM1
- 2- pumpa P
- 3- spojka S
- 4- metalno postolje (skeed)
- 5- betonska temeljna ploča
- 6- ulazni cjevovod na pumpu

### 6.3. Tehnički podaci seta elektromotor-pumpa MP1

**Tablica 5. Tehnički podaci pumpe**

<i><b>Tehnički podaci pumpe</b></i>	
Proizvođač:	Ingersoll Dresser PumpGmbh
Vrsta pumpe:	centrifugalna
Tip:	5 UO-2
Serijski broj:	BRN W 318.116
Snaga:	181 kW
Kapacitet:	180 m <sup>3</sup> /h
Max. dopušteni tlak:	56 bar
Težina:	1070 kg
Godina proizvodnje:	1997.
Pogonski stroj:	Elektromotor
Visina dobave:	298m
<b>Procesni parametri:</b>	
Radni tlak:	20 bar
Broj okretaja:	2980 min <sup>-1</sup>
Fluid:	sirova nafta
Gustoća nafte:	865 kg/m <sup>3</sup>

**Tablica 6. Tehnički podaci elektromotora**

<i><b>Tehnički podaci elektromotora</b></i>	
Proizvođač:	Končar
Tip:	6 ATJ 318-02
Snaga:	200 kW
Faktor snage:	cosφ = 0,9
Frekvencija:	50 Hz
Broj okretaja:	2980 min <sup>-1</sup>
Pogonski stroj:	Elektromotor
Težina:	1030 kg
<b>Nazivni napon i struja:</b>	380 V, 352 A

Set elektromotor-pumpa uključen je 2-3 puta tjedno i to po 12-14 sati.

#### 6.4. Dinamičko balansiranje rotora elektromotora

Opis radova provedenih na elektromotoru od strane Mato el-d d.o.o.:

- demontaža elektromotora (skraćeno EM) na lokaciji korisnika
- transport i prijem EM u radionicu
- sačmarenje kućišta
- rastavljanje
- detaljan pregled i defektacija
- električka ispitivanja
- mjerenje i kontrola mehaničkih dimenzija
- izrada dokumentacije popravka
- pranje, čišćenje i sušenje svih dijelova EM
- popravak ležajnog sklopa na prednjoj i stražnjoj strani EM
- reimpregnacija namota
- uređenje priključne kutije
- **balansiranje rotora**
- izmjena ležajeva
- provjera i uređenje svih parametara EX zaštite
- izmjena sitnih potrošnih dijelova (vijci, mazalice)
- sastavljanje EM
- bojanje EM temeljnom i završnom bojom
- probni pogon u praznom hodu
- mjerenje električnih i mehaničkih parametara rada EM
- priprema i transport EM korisniku
- montaža i proba EM na lokaciji korisnika
- izrada ispitnih izvještaja [11]

Prema opisu radova iz Servisnog izvještaja elektromotora (Prilog I), vidljivo je da je odrađena kompletna reparatura elektromotora, slika 32.



**Slika 32. Elektromotor po dolasku u radionicu, rastavljen, repariran i ispitan [11]**

#### **6.4.1. Izvještaj o balansiranju rotora elektromotora**

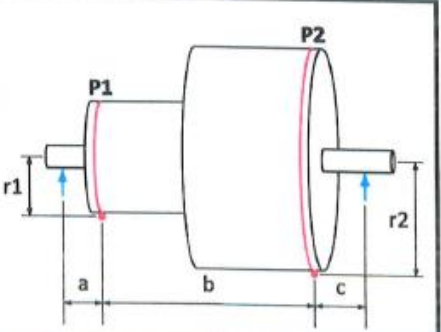
Rotor elektromotora balansiran je s tolerancijom zaostalog debalansa razreda G2,5 prema normi ISO 1940, gdje spada prema svojim karakteristikama. Brzina vrtnje pri kojoj je vršeno balansiranje bila je  $745 \text{ min}^{-1}$ . Vršeno je dvoravninsko balansiranje. Podaci o balansiranju dani su tablicom 7. iz Servisnog izvještaja elektromotora.

Tablica 7. Podaci o balansiranju rotora elektromotora [11]

Norma	ISO 1940	Dimenzije [mm]	
G	2,50	a	165,00
Masa rotora [kg]	220,00	b	500,00
Brzina vrtnje [ $\text{min}^{-1}$ ]	2983	c	225,00

	Tolerancija [g]	r [mm]
P1	7,747	119,00
ST	12,804	144,00
P2	7,747	119,00



## Preostala neuravnoteženost

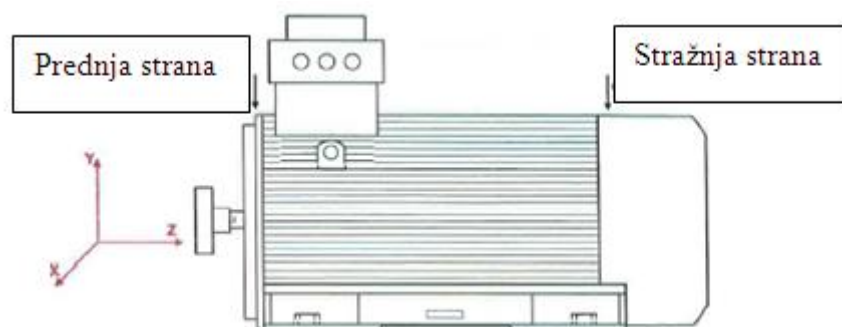
P1 [g]	ST [g]	P2 [g]
4,06	1,91	2,00
32,3 °	230,6 °	191,0 °

Brzina vrtnje pri kojoj je provedeno balansiranje:  $745 \text{ min}^{-1}$ .

Prema podacima iz tablice 7. u svim ravninama je vrijednost zaostalog debalansa unutar tolerancija. Oznaka ST koja je dana u tablici, a nije označena na skici, predstavlja korekciju statičkog debalansa.

## 6.4.2. Izvještaj o mjerenju vibracija

Nakon provedenog balansiranja, ostalih prethodno navedenih radova i sklapanja motora izvršeno je mjerenje vibracija, na prednjoj (PS) i stražnjoj strani (SS), slika 33., te su dobivene ukupne vrijednosti vibracija, tablica 8. Gornja dopuštena jačina vibracija (vibracijska brzina) za ovaj tip stroja iznosi  $4,5 \text{ mm/s RMS}$ , prema normi ISO 10816-3.



Slika 33. Prikaz za orijentaciju prilikom izvođenja mjerenja na EM1 [11]



**Tablica 8. Izmjerene ukupne vrijednosti vibracija na EM nakon balansiranja [11]**

Ukupna jačina vibracija [mm/s]					
ELEKTROMOTOR PS			ELEKTROMOTOR SS		
X	Y	Z	X	Y	Z
1,449	1,949	1,863	1,311	2,083	1,813
Gornja dopuštena jačina vibracija za ovaj tip stroja: 4,5 mm/s (ISO 10816-3)					

Vrijednosti vibracija dobivene su mjerenjem pri  $2999\text{min}^{-1}$  te u neopterećenom stanju motora (praznom hodu). Vrijednosti ukupnih vibracija za prednju i stražnju stranu dobivene su pojedinačnim mjerenjima po svakoj od osi (X,Y,Z) što je vidljivo u Prilogu I.

Nakon izvršenog balansiranja rotora, zamjene ležajeva i kompletne reparature elektromotora, bilo bi za očekivati bolje vrijednosti vibracijske brzine, tj. ispod 1,8 mm/s, što bi prema ISO 10816-3 bila zona A. Prema dobivenim vrijednostima vibracijske brzine nakon reparature elektromotor spada u zonu B prema navedenom standardu. Ovakvo stanje biti će detaljnije pojašnjeno u poglavlju 7. kod usporedbe stanja prije i nakon izvršene reparature.

### 6.5. Lasersko centriranje elektromotora na postolje u postrojenju

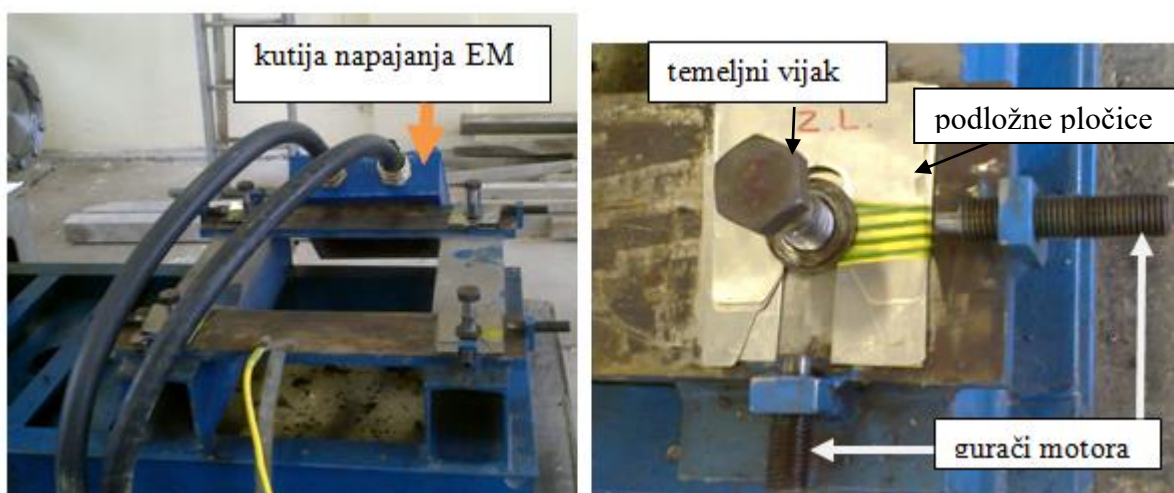
Nakon izvršenih radova na elektromotoru od strane vanjskog izvođača, isti je vraćen na svoje postolje, slika 34. Postolje se sastoji od betonske temeljne ploče i metalnog postolja „skeed“, koji je pričvršćen vijcima (ankerima) u temeljnu ploču. Metalno postolje postavljeno je na temeljnu ploču, da bi se dobila potrebna visina između izlaznog odvoda pumpe i cjevovoda. Treba naglasiti da se i pumpa i elektromotor nalaze na „skeedu“.





**Slika 34. Prikaz postolja i pumpe prije postavljanja elektromotora**

Na slici 35. je prikazano je napajanje i detalj s temeljnim vijkom (otvor ključa OK 36; M24x80 mm, čvrstoće 8.8), podlošnim pločicama i guračima motora koje ima svaka noga. Budući da je zbog velike težine motora korištena dizalica, kasnije potrebno precizno pomicanje kod centriranja moguće je jedino guračima (uvrtni imbus vijci - 10mm; M19x100mm ) i to dok su temeljni vijci otpušteni.

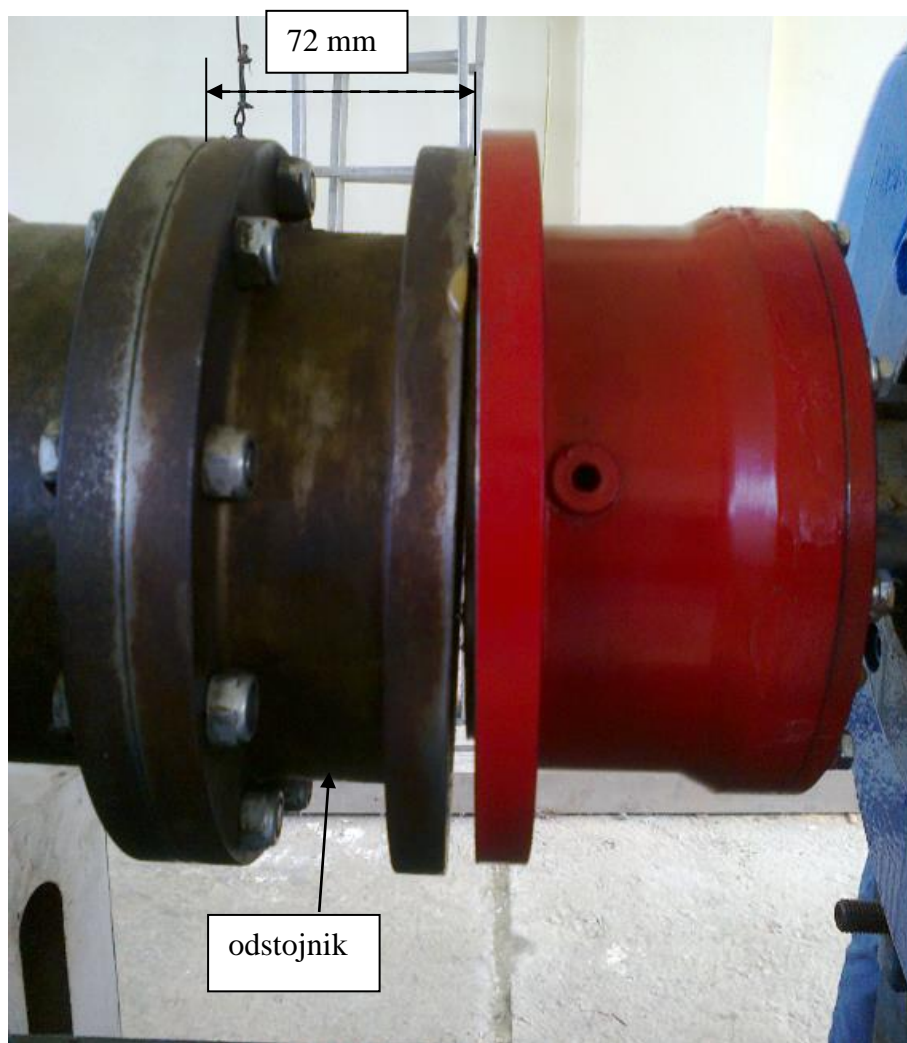


**Slika 35. Prikaz temeljnih vijaka, gurača i napajanja elektromotora**

### 6.5.1. Postupak izvođenja laserskog centriranja

#### 0) Pozicioniranje elektromotora dizalicom na postolje (skeep)

Nakon što je elektromotor ugrubo postavljen na postolje, zatečeno stanje prikazano je slikom 36., gdje je uočljiv radijalni i kutni ofset između glavčina spojke.



**Slika 36. Grubo postavljanje elektromotora na postolje**

Na slici 36., vidi se da spojka ima dodatni članak, tj. odstožnik ili distancer širine 72 mm, koji se nalazi između dviju glavčina.

- 1) Stavljanje i stezanje vijaka između odstoynika i glavčine na strani elektromotora, pri čemu se elektromotor pomicao pomoću gurača i pajslera, slika 37.

Svaka od glavčina povezana je odstoynikom s 10 vijaka M10x60 mm.



**Slika 37. Montaža vijaka na spojci**

- 2) Stezanje temeljnih vijaka, slika 46.



**Slika 38. Stezanje temeljnih vijaka**



### 3) Montiranje laserskog instrumenta na vratila, slika 39.

Prijemnik i odašiljač laserske zrake pritegnu se lancem na vratila te se kablom povežu s Rotalign Ultra uređajem.



**Slika 39. Montiranje prijemnika i odašiljača na vratila**

### 4) Određivanje početnih parametara necentričnosti

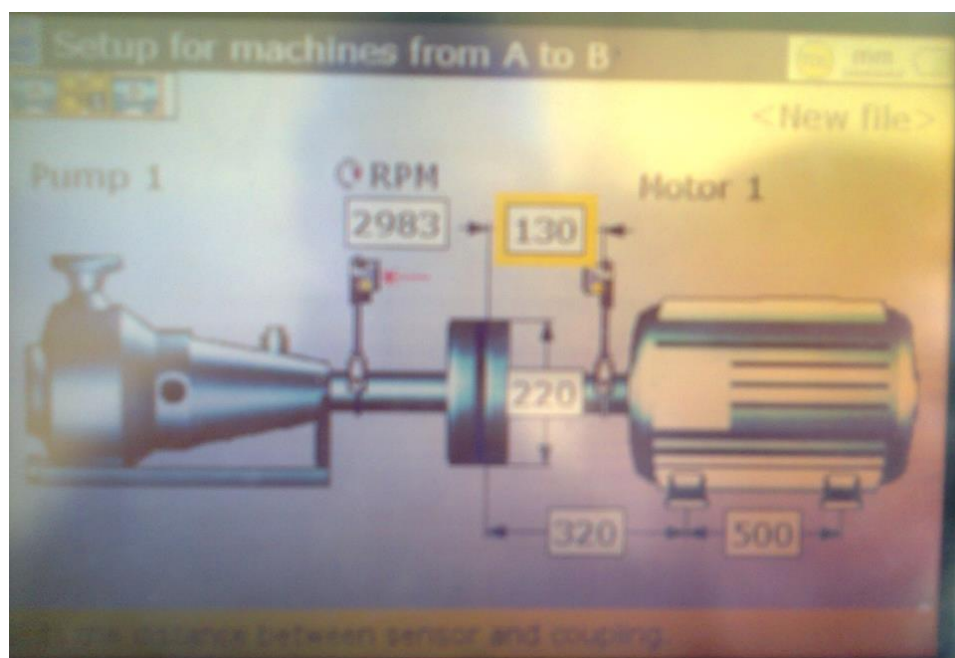
Potrebno je odrediti postojeće početno stanje, tj. „koliko stroj odstupa od vage“.

#### 4.1) Unos parametara u uređaj za mjerenje

- Rukovanje samim uređajem, vrlo je jednostavno te je potrebno popuniti sva polja (karakteristični razmaci, promjer spojke, brzina vrtnje itd.), slika 40. i slika 41.



Slika 40. Glavni izbornik na uređaju



Slika 41. Unos karakterističnih vrijednosti za ovaj slučaj centriranja

4.2) Uzimanje prve mjere – vratila povezanih strojeva polako se zakrenu za neki kut, npr.  $90^\circ$ . Na uređaju se pokažu horizontalni i vertikalni ofset, tj. parametri necentričnosti, slika 42.



**Slika 42. Dobivanje prvih rezultata i parametara necentričnosti**

4.2.1) Otpuste se temeljni vijci te se guračima fino pozicionira motor, tj. podešava se horizontalni ofset, dok se na uređaju ne pokaže da su parametri necentričnosti horizontalnog ofseta u dozvoljenim granicama. Zatim se ponovno stegnu temeljni vijci, što se ponovno odražava na parametre necentričnosti. Da bi se ova situacija prevladala kreće se u akciju korekcije „soft foot“.

5) Korekcija „soft foot“-a provodi se na način da se zasebno otpuštaju temeljni vijci, jedan po jedan te se na uređaju očitava koliko koja noga stroja odstupa. Nakon uvida u stanje, kreće se s podlaganjem noge koja ima najveće odstupanje, s podložnom pločicom



odgovarajuće debljine, a potom se temeljni vijak stegne i provjeri se novo stanje. Ovaj postupak se ponavlja, dok sve noge ne budu u dozvoljenim granicama odstupanja, slika 43.

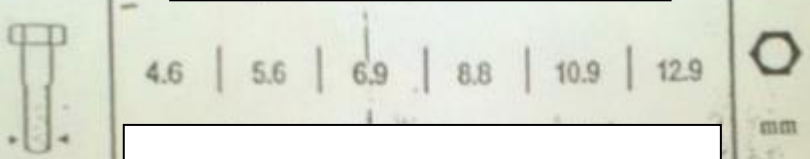


**Slika 43. Postupak detekcije i otklanjanja „soft foot“**

U ovom slučaju „soft foot“ bio je prisutan na dvije noge dijagonalno, a stanje na svim nogama došlo je u granice dopuštenih vrijednosti podlaganjem noge koja je najviše odstupala (0,16 mm).

Vrlo je bitno da se temeljni vijci stežu moment ključem u ovisnosti o dimenziji i čvrstoći vijka, tablica 9. Nakon ove faze slijedi vertikalno poravnanje.

Tablica 9. Preporučeni momenti stezanja različitih glavatih vijaka prema DIN 267



**Čvrstoća vijka**

4.6 | 5.6 | 6.9 | 8.8 | 10.9 | 12.9

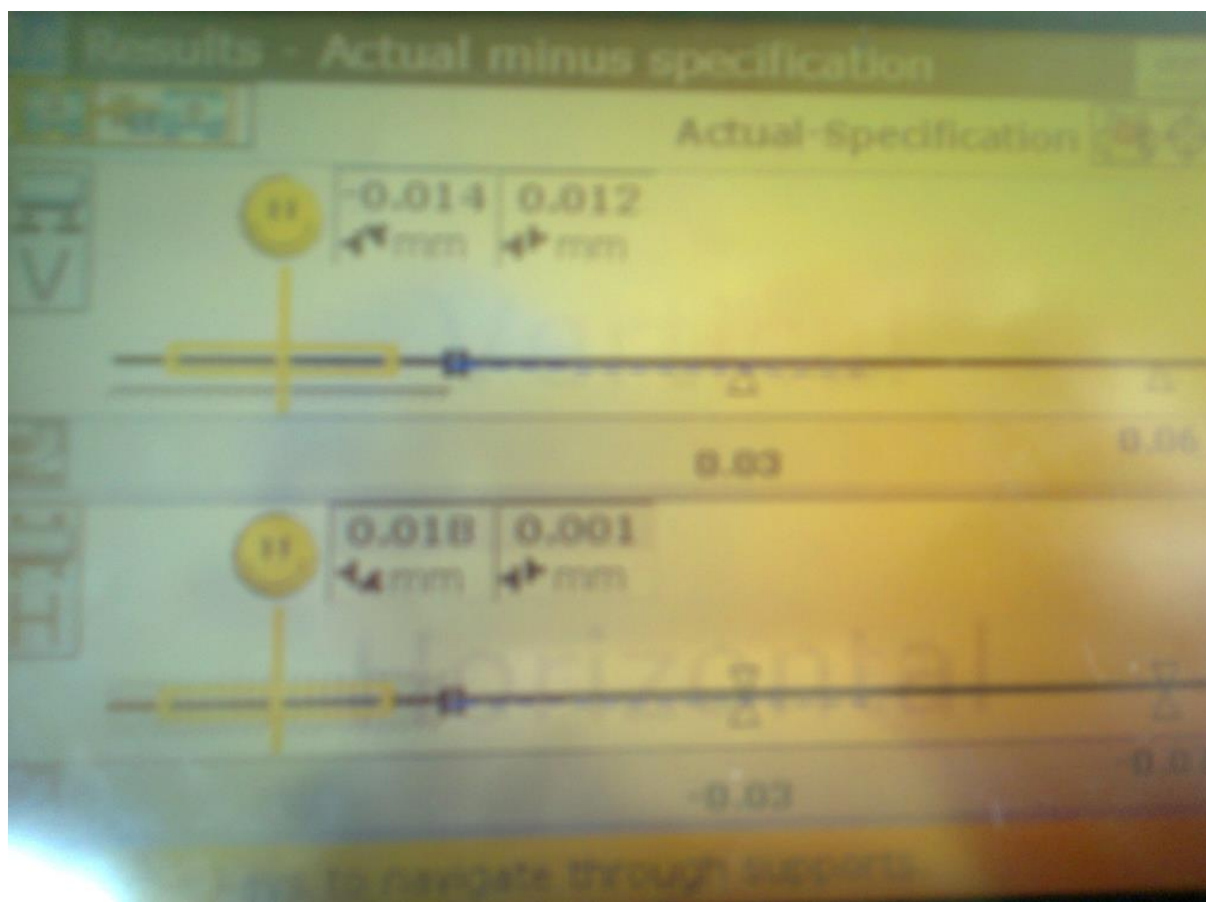
mm

**Preporučeni moment stezanja [Nm]**

M 4	1,0	1,3	2,6	3,0	4,3	5,1	7
M 5	2,0	2,5	5,1	6,0	8,5	10,2	8
M 6	3,4	4,5	8,7	10,3	14,7	17,6	10
(M 7)	5,6	7,4	14,2	17,1	24,5	28,4	11
M 8	8,2	10,8	21,6	25,5	35,3	42,2	13
M 10	16,7	21,6	42,2	50,0	70,6	85,3	15
M 12	28,4	38,2	73,5	87,3	122	147	18
(M 14)	45,1	60,8	116	138	194	235	22
M 16	69,6	93,2	178	211	299	358	24
(M 18)	95,1	127	245	289	412	490	27
M 20	135	180	384	412	579	696	30
(M 22)	182	245	471	559	784	941	32
M 24	230	309	598	711	1000	1196	36
(M 27)	343	461	887	1049	1481	1775	41
M 30	466	623	1206	1422	2010	2403	46
(M 33)	632	848	1628	1932	2716	3266	50

- 6) Vertikalno poravnanje – noge koje odstupaju, opet nakon odpuštanja temeljnih vijaka podlažu se simetrično pločicama jednake debljine, slika 44.





**Slika 44. Dobivene konačne vrijednosti parametara necentričnosti**

Iz slike 44. može se zaključiti da je postupak centriranja izvršen uspješno, što više izvrsno, jer su postignuti rezultati daleko bolji od dozvoljenog odstupanja ofseta koji za ovaj slučaj kod rotacijske brzine od  $3000 \text{ min}^{-1}$  iznosi 0,06 mm. Najveće izvedeno horizontalno odstupanje iznosi 0,018 mm, što je oko 3 puta manje od dozvoljenog.

### 6.5.2. Korišteni alat

- Uređaj Rotalign Ultra – Pruftechnik, s pripadajućom opremom
- Viličasti ključ OK36
- Moment ključ
- Poluga - Pajser
- Set normiranih podložnih pločica

### 6.5.3. Uređaj za lasersko centriranje Rotalign ultra

Proizvođač uređaja: Pruftechnik

Mogućnosti uređaja:

- Izvođenje centriranja stroja
- Provedba mjerenja
- Analiza rezultata
- Analiza i korekcija soft foota [9]
  - Korisnik se kroz postupak mjerenja i centriranja korisnik se navodi korak po korak (*customer friendly*), a samo centriranje se izvodi vrlo brzo.
  - Mjerenje postaje jednostavan proces [9]



Slika 45. Uređaj Rotalignultra [9]

## Specifikacije uređaja, slika 46.:

<b>Computer</b>		<b>Laser</b>	
CPU	Intel XScale® running at 400 MHz	Laser	GaAlAs semiconductor laser
Memory	64 MB RAM, 64 MB Internal Flash, 64 MB Compact Flash	Wavelength	670 nm (typical)
Display		Beam diameter	5 mm
Type	Transflective (sunlight-readable) backlit color graphic display	Beam divergence	< 0.3 mrad
Resolution	1/2 VGA (480 x 320 pixels)	Beam power	< 1 mW
Dimensions	5.4 inch diagonal (118 mm x 80 mm)	Laser safety class	Class 2; FDA 21CFR 1000 and 1040
Contrast	Adjustable	Safety precautions	Do not look into laser beam.
Illumination	Adjustable (0....70 cd/m²)	Power supply	9V block battery, IEC 6LR61 (alkaline or lithium)
Keyboard elements	Navigation cursor cross with three additional keys (up, clear and menu) Alphanumerical keyboard Three shortcut keys (hard keys for dimension, measure and results)	Operating time	80 hours continuous, depending upon battery type
LED indicators	4 LEDs (blue, green, yellow, red) for laser status and alignment condition 2 LEDs (blue, green/red) for communication and battery status	Temperature range	0 °C - 50 °C (32 °F - 122 °F)
Power supply		Weight	Approx. 165 g (5.8 oz.)
Li-Ion rechargeable	(7.2 V / 6.0 Ah)	<b>Receiver</b>	
Operating time	> 25 hours typical use (25% measurement, 25% computation, 50% 'sleep' mode)	Directions of 5-axis detector measurement	2 planes (4 displacement axes) 1 inclination 360° (angle to plumb)
Charging time	< 6 hours	Measurement area	Unlimited, dynamically extendible
Charging display	2 LEDs (green/red)	Separation between measurement planes	Approx. 160 mm (6 1/4 in.)
Charging temp.	10 °C to 40 °C (50 °F to 104 °F)	Resolution	1 µm (0.04 mil); angular 10 µRad
'Sleep' mode	Adjustable	Error	< 2%
Weight	388 g (13.7 oz.)	Error rotation angle	< 2°
Disposable batteries	(6x 1.5 V [IEC LR 14]) – optional	Measurement rate	Approx. 20 Hz
Operating time	> 12 hours typical use (25% measurement, 25% computation, 50% 'sleep' mode)	Temperature range	0 °C - 60 °C (32 °F - 140 °F)
'Sleep mode'	Adjustable	Weight	Approx. 190 g (6.7 oz.)
Weight	Battery housing 553 g [19.5 oz.] (with batteries)	<b>Laser / Receiver</b>	
External interface		Max. measurement separation between laser and receiver	10 m (33 ft.)
USB host	Supports printing and external keyboard usage	Measurement stability	Ensured by temperature-stabilized light metal housing
USB slave	For PC communication	Environmental protection	Shockproof, waterproof, dustproof (IP 67)
RS232 (serial)	For receiver	Protection from ambient light	Yes
Wireless communication	Bluetooth™	Dimensions	Approx. 105 x 67 x 47 mm (4 1/8 x 2 5/8 x 1 7/8 in.)
Environmental protection	Shockproof, dustproof, water resistant, (IP 65)	<b>Carrying case</b>	
Relative humidity	10% to 90%	Type	ABS, drop tested (2 m / 6 1/2 ft.) Case features 2 key locks and 1 combination lock.
Temperature range		Dimensions	565 x 375 x 193 mm (22.2 x 15 x 7.6 in.)
Operation	0 °C to 45 °C (32 °F to 115 °F)	Weight, including all standard parts	Approx. 9 kg (19.8 lb.)
Storage	-20 °C to 60 °C (-4 °F to 140 °F)		
Dimensions	243 x 172 x 61 mm / 9.6 x 6.8 x 2.4 in.		
Weight	1 kg (2.2 lb) without battery and stand		
CE conformity (for cable lengths < 3 m (9.8 ft))			
General	EN 61326		
Emission	EN 55022		
Interference	EN 61000-4-2, -3, -4, -5, -6, -11		



Slika 46. Specifikacije uređaja Rotalign Ultra [9]

## 7. USPOREDBA REZULTATA PRIJE I NAKON IZVRŠENOG BALANSIRANJA I CENTRIRANJA

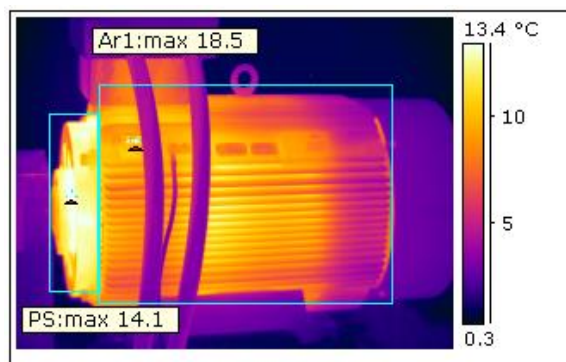
### 7.1. Stanje elektromotora prije reparature

Na temelju Izvještaja P14-15 (Prilog II, str.1), tablica 10., od 27.02.2015.g. vidljivo je da su na elektromotoru izmjerene ukupne vibracije na prednjoj i stražnjoj strani sve oko 1,8mm/s, s maksimalnom vrijednošću mjerenom na prednjoj strani elektromotora u smjeru Y osi i to 1,954mm/s, što je još uvijek ocijenjeno zonom A.

**Tablica 10. Ukupne vibracije na EM Prije reparature**

Datum mjerenja ukupnih vibracija (mm/s - RMS): 27.2.2015.			
Os	Prednja strana	Stražnja strana	
X	1,739	1,846	
Y	1,954	1,089	
Z	1,640	1,708	
Ocjena stanja (po ISO 10816-1):			<b>Zona A</b>

Rezultati dobiveni termografskim ispitivanjem također su bili zadovoljavajući, s maksimalnim iznosom temperature od 18,5°C na kućištu, slika 47. Ovako niska mjerena vrijednost može se tumačiti time što je stroj bio tek 25 minuta u radu.



**Slika 47. Termogram motora prije reparature**

Prema ispitanim vibracijskim frekvencijama ležajeva u usporedbi prema SKF-ovim preporukama, stanje istih ocijenjeno je dobrim, tablica 11.

**Tablica 11. Stanje ležajeva EM prije reparature**

Stanje ležaja (m/s <sup>2</sup> - karakteristične frekvencije dijela ležaja). Okretna frekvencija iz FFT-a: 2981 °/min					
Ležajevi	F. vanjski	F. unutarnji	F. kotrljajući	F. kavez	Stanje – preporuka
Prednji 6317 C3	0,027	0,026	0,039	0,039	Dobro
Stražnji 6317 C3	0,015	0,005	0,009	0,008	Dobro

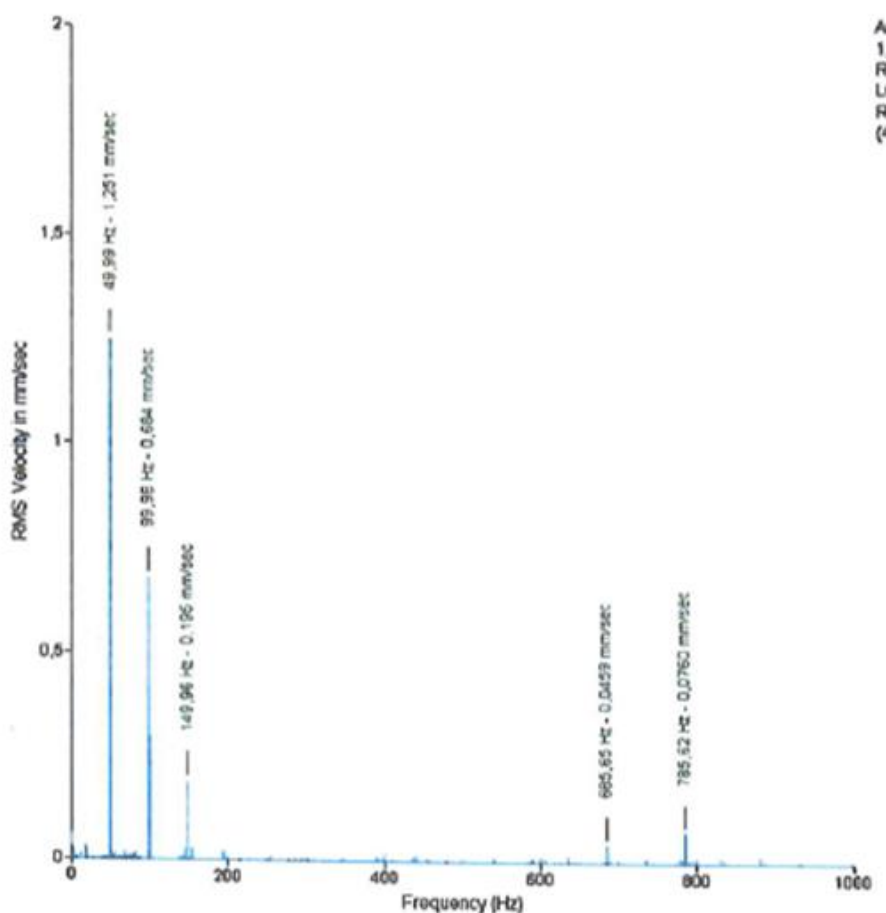
## 7.2. Analiza rezultata vibracija na elektromotoru nakon izvršenog balansiranja

Nakon izvršenog balansiranja rotora elektromotora, zamjene ležajeva i kompletne reparature u radioni Mato el-d, provedeno je i ispitivanje vibracija (Prilog I.).

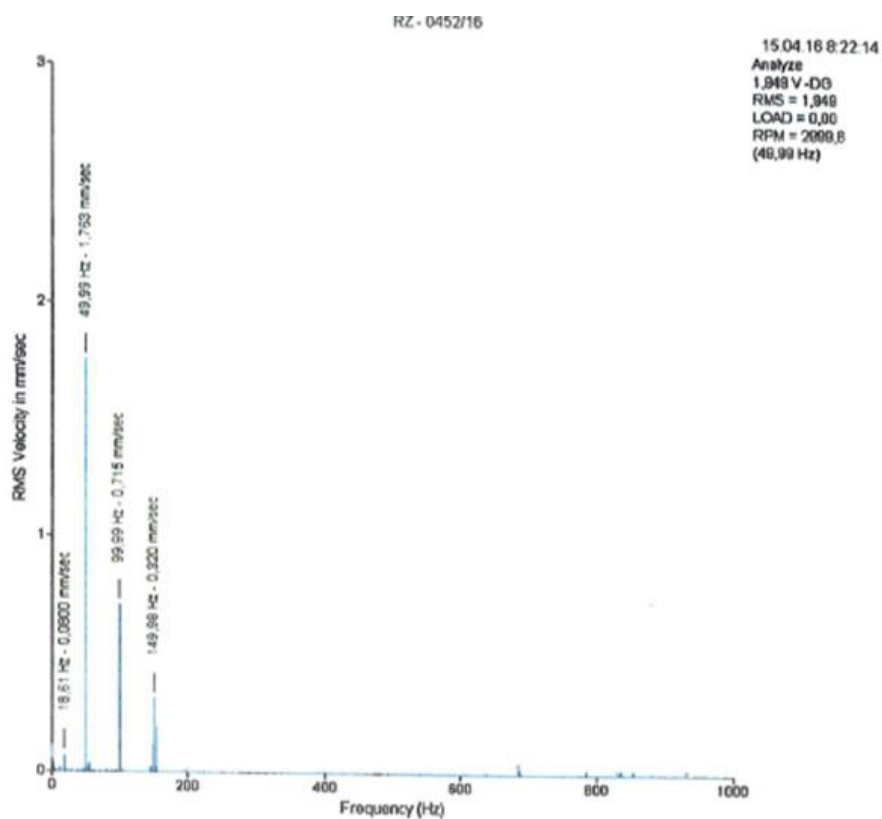
Zanimljivo je uočiti da su nakon kompletne reparature elektromotora, izmjerene veće ukupne vibracije u odnosu na one mjerene prije remonta.

Uzrok ovome treba potražiti u spektru vibracijskog signala prednje i stražnje strane elektromotora po osima X,Y,Z.

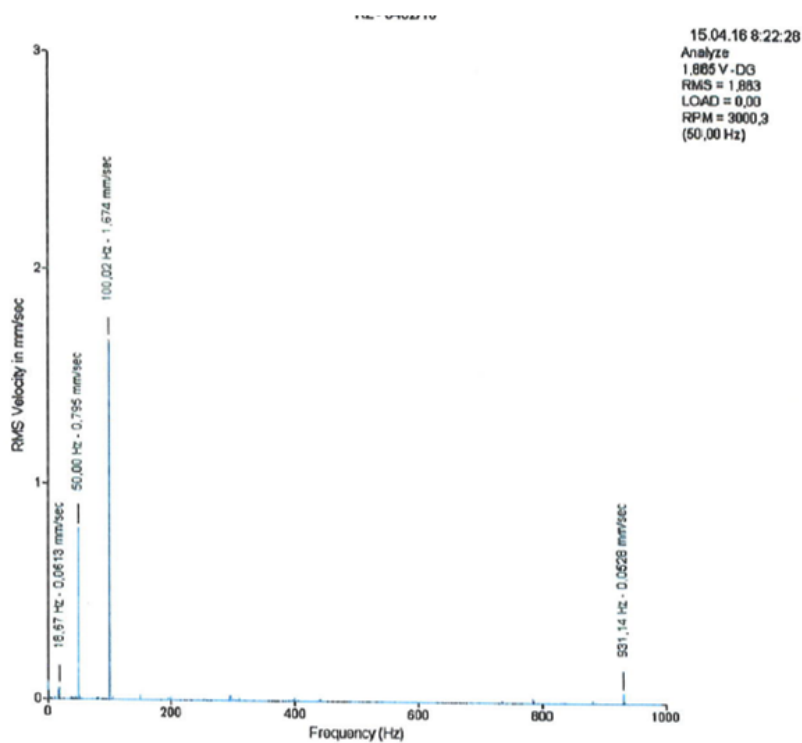
Za prednju stranu elektromotora, dane su slika 48. – slika 50. Za x i y osi, najveća vibracijska brzina javlja se na prvom harmoniku signala, kod frekvencije  $f = 49,99$  Hz, dok je za os z najveća vibracijska brzina na drugom harmoniku signala  $f = 99,98$  Hz. Prvi harmonik signala, tj.  $f = 50$  Hz odgovara upravo okretnoj frekvenciji rotora.



Slika 48. Spektar vibracijskog signala PS za x os

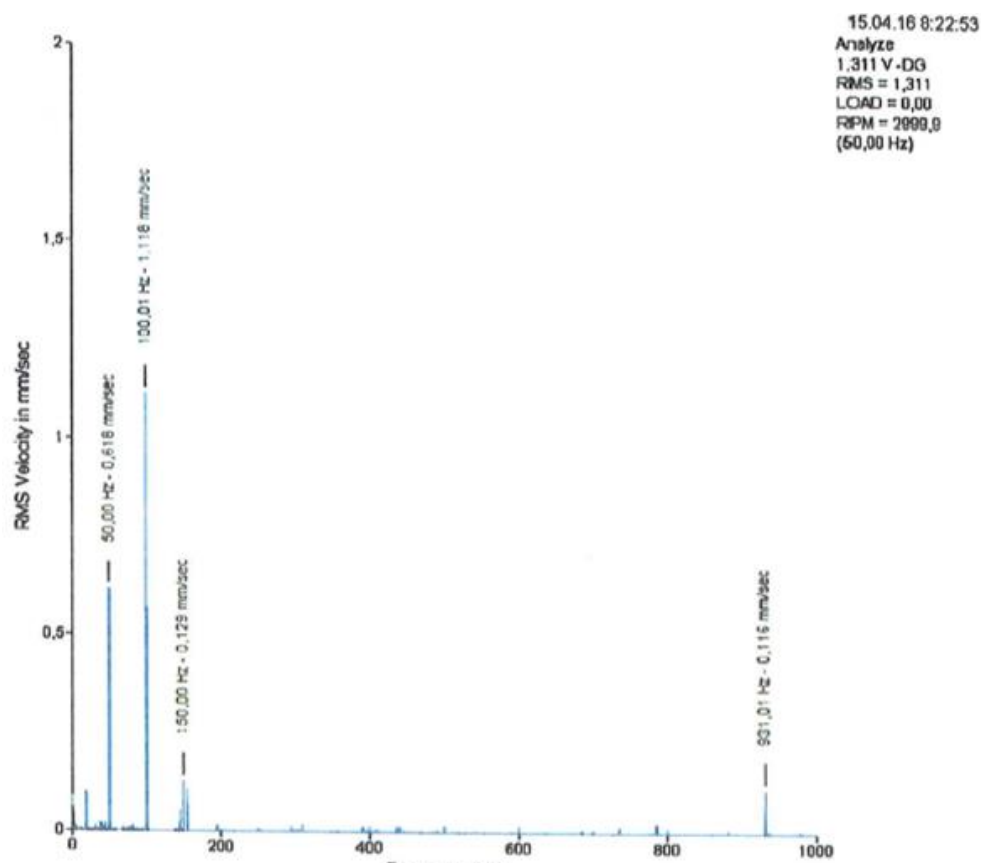


Slika 49. Spektar vibracijskog signala PS za y os

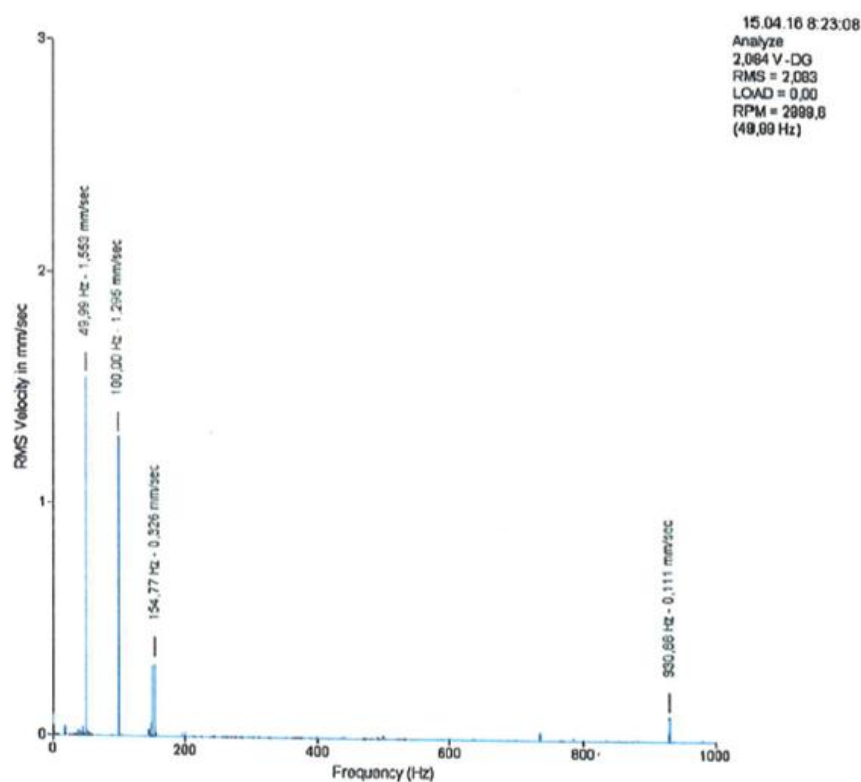


Slika 50. Spektar vibracijskog signala PS za z os

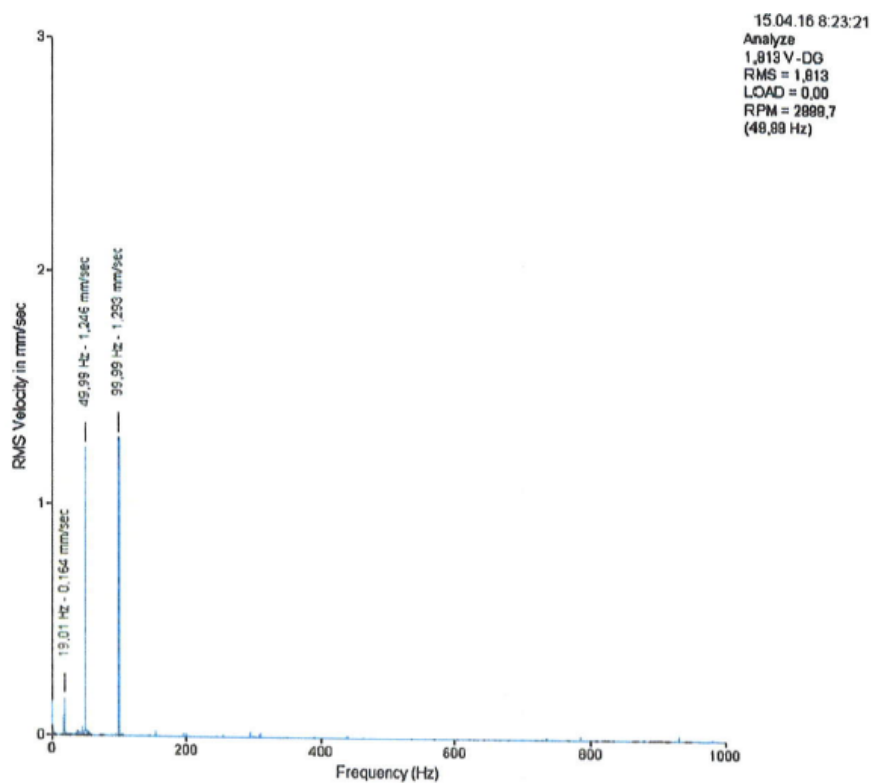
Na stražnjoj strani elektromotora, nešto je drugačija situacija, slika 51. – slika 53. Za osi y i z, najveća vibracijska brzina javlja se na prvom harmoniku signala, kod frekvencije  $f = 49,99$  Hz, dok je za os x najveća vibracijska brzina na drugom harmoniku signala  $f = 99,98$  Hz.



Slika 51. Spektar vibracijskog signala SS za x os



Slika 52. Spektar vibracijskog signala SS za y os



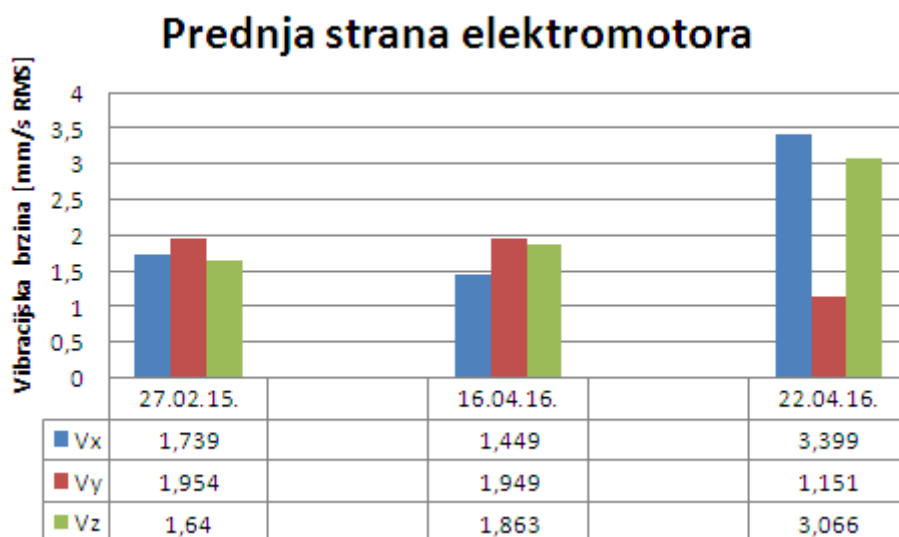
Slika 53. Spektar vibracijskog signala SS za z os



Iz ovakvog spektra vibracijskog signala može se zaključiti da se radi o labavosti ili necentričnosti unutar elektromotora. Kako je sve promijenjeno, rotor je izbalansiran unutar dozvoljenog odstupanja prema ISO 1940, jedino logično objašnjenje je da se radi o tome da rupe elektromotora na prednjoj i stražnjoj strani, unutar kojih su uprešani ležajevi nisu više koncentrične.

### 7.3. Stanje elektromotora nakon centriranja s pumpom

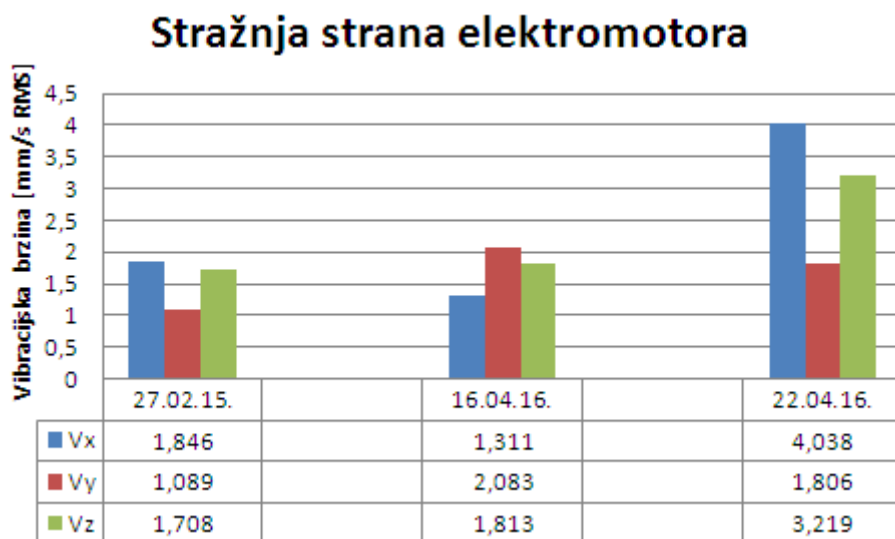
Zasebno su uspoređivani rezultati vibracija prednje (slika 54.) i stražnje (slika 55.) strane elektromotora prema datumima, tj. prije reparature (27.02.15.g.), nakon balansiranja (15.04.16.g.) i nakon centriranja (22.04.16.g.).



**Slika 54. Usporedba ukupnih vibracija na PS elektromotora prije i nakon remonta**

Na slici 54. uočljivo je kako su ukupne vibracije na prednjoj strani motora porasle, a uzrok je već objašnjen tumačenjem spektra vibracija. Prosječna ukupna vibracijska brzina  $v$ , porasla je s početnog stanja prije remonta od 1,78 mm/s RMSa na 2,54 mm/s RMSa nakon centriranja, što je drastično povećanje od 42,7%.

Svakako treba uzeti u obzir da nakon godinu dana rada, tj. nakon približno 1456 sati rada, stanje i elektromotora i pumpe se je pogoršalo, što se posebno vidi na rezultatima vibracija pumpe, a jedan dio vibracija s pumpe prenosi se na elektromotor.

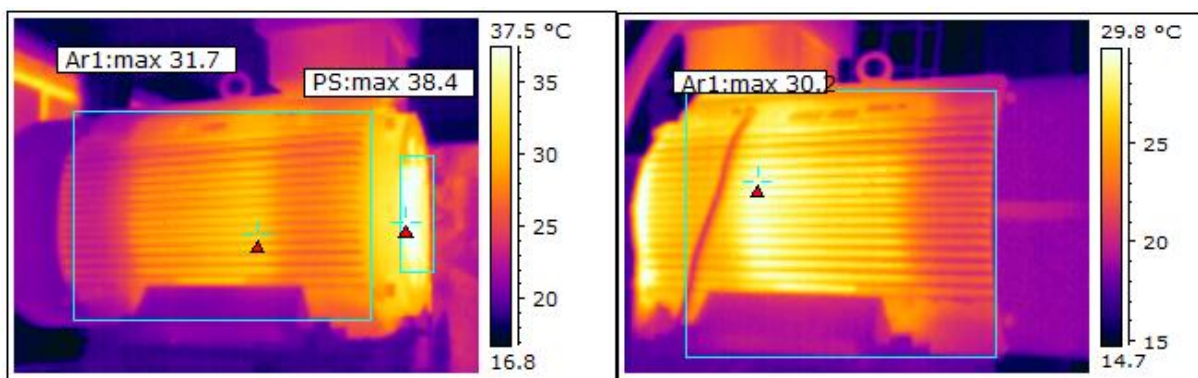


**Slika 55. Usporedba ukupnih vibracija na SS elektromotora prije i nakon remonta**

Na slici 55. također je uočljivo je kako su ukupne vibracije na stražnjoj strani motora porasle, a uzrok je već objašnjen tumačenjem spektra vibracija. Prosječna ukupna vibracijska brzina  $v$ , porasla je s početnog stanja prije remonta od 1,55 mm/s RMSa na 3,02mm/s RMSa nakon centriranja, što je ogromno povećanje od 94,8%.

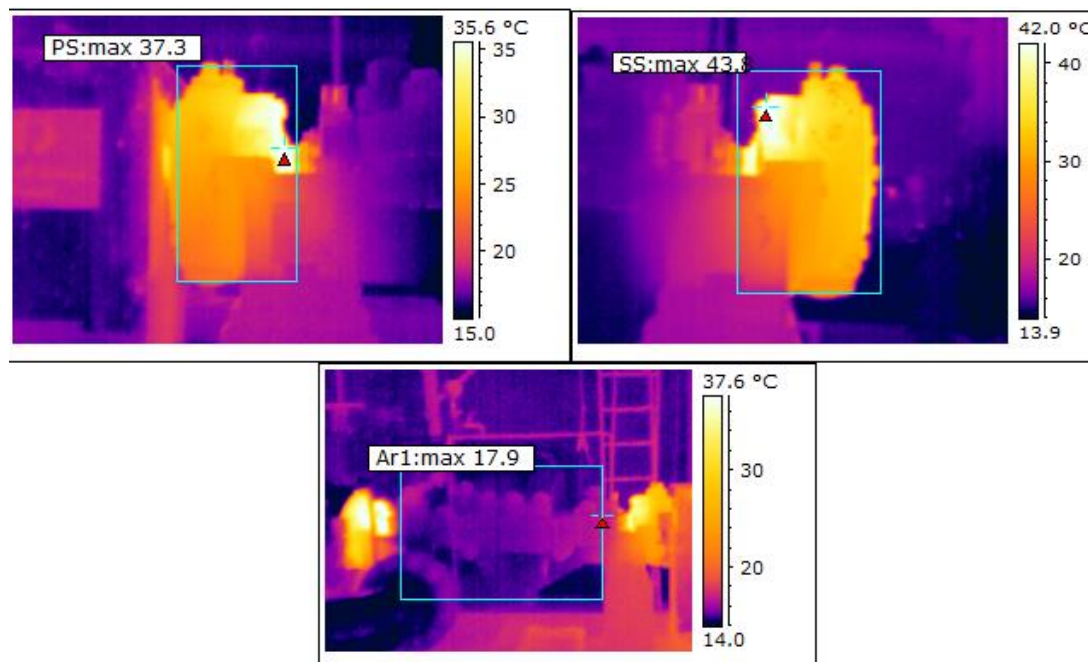
U svakom slučaju treba reći da prema ocjeni stanja ISO 10816-3 stroj spada u zonu B, a samim time njegovo stanje se i dalje tretira zadovoljavajućim.

#### 7.4. Termografsko ispitivanje elektromotora i pumpe nakon centriranja



**Slika 56. Termogrami elektromotora nakon centriranja**

Iz slike 56. vidljivo je da na elektromotoru nema pregrijavanja, a najveća temperatura pojavljuje se na ležaju prednje strane i iznosi  $38.4^{\circ}\text{C}$ , a maksimalna temperatura na kućištu je  $31,7^{\circ}\text{C}$ , što je opet značajno više od onih  $18,4^{\circ}\text{C}$  od lanjskog mjerenja (slika 47.).



**Slika 57. Termogrami pumpe nakon centriranja**

Na slici 57. prikazani su termogrami pumpe. Prva dva redom prikazuju prednji ležaj i stražnji ležaj, dok donji termogram prikazuje pumpu u globalu. Temperature na ležajevima iznose  $37.3^{\circ}\text{C}$  i  $43.8^{\circ}\text{C}$  (prednji i stražnji ležaj), što je također značajno više od lanjskog mjerenja  $26^{\circ}\text{C}$  i  $28^{\circ}\text{C}$  (Prilog II).

Termografsko mjerenje iz 2015. g. izvodilo se nakon 25min rada strojeva, a mjerenje nakon centriranja nakon 6 sati rada, što također utječe na termografske rezultate.

Iz tablice 12. vidi se da je centriranje elektromotora i pumpe izvedeno jako dobro, tj. dobivene vrijednosti su čak 3x niže u odnosu na dozvoljene granice definirane prema tablici 3.

**Tablica 12. Završno stanje nakon centriranja**

<b>Naručitelj:</b>	<b>STSI-SON</b>	
<b>Kontakt osoba ili nadzor:</b>	Stanko Habulin	
<b>Lokacija :</b>	OS Graberje	
<b>Tehnološka oznaka :</b>	MP 1	
<b>Vrsta stroja :</b>	pumpa	motor
<b>Proizvođač :</b>	Ingersoll-Dresser pumps	KONČAR
<b>Tip :</b>	5 UQ-2	6ATJ 318-02
<b>Tv. broj :</b>	BRN W318.116	944 621
<b>Snaga :</b>		200 kW
<b>Broj okretaja :</b>	2983 o/min	
<b>Spojka (vrsta, promjer) :</b>	zupčasta , Ø 220 mm	

<b>Temeljni vijci motora</b>	36 mm
<b>Podizači motora</b>	~
<b>Gurači motora</b>	Imbus 10 mm

Lasersko centriranje provedeno je instrumentom:

ROTALING ULTRA  
Ser.no. 43211908

**ZAVRŠNO STANJE NAKON CENTRIRANJA** 18.04.2016.

	Aksijalno odstupanje - "gap" (mm)	Radijalno odstupanje - "offset" (mm)
Okomito	-0,014	0,012
Vodoravno	0,018	0,001

Na kraju treba reći da unatoč dobro odrađenom poslu balansiranja i centriranja, nisu postignuti optimalni rezultati za stanje seta elektromotor-pumpa, na što su utjecali mnogi bitni faktori, koji se daju premostiti.

Ukupni rezultati nisu optimalni, ali stanje seta je zadovoljavajuće, prema ISO 10816, što je zapravo i najvažnije za cijeli sustav.

## 8. ZAKLJUČAK

Na temelju rezultata obavljenih poslova reparature, dinamičkog balansiranja rotora elektromotora i laserskog centriranja elektromotora i pumpe, treba reći da su se postupci izvršavanja odvijali prema propisanim normama i propisima zaštite na radu, bez čijeg poštivanja ne bi bilo moguće adekvatno odraditi posao i doći do postavljenog cilja.

Krajnji rezultati koji su iskazani analizom vibracija i termografskim ispitivanjem pokazali su se znatno lošijima u odnosu na stanje koje je dijagnosticirano 2015.g., tj. prije reparature i to sa prosječnim ukupnim povećanjem vibracija na prednjoj strani za oko 42,7%, dok su se prosječne ukupne vibracije stražnje strane povećale za drastičnih 94,8%., unatoč dobro odrađenim radnjama dinamičkog balansiranja i laserskog centriranja.

Glavni uzrok ovakvom završnom stanju, nalazi se u analizi spektra vibracija dobivenog nakon balansiranja elektromotora. Prema toj analizi zaključuje se da preostali debalans na motoru uzrokuje to što provrti prednje i stražnje strane elektromotora u koje su uprešani ležajevi nisu više koncentrični, budući da je rotor elektromotora izbalansiran. Uz ovaj glavni razlog svakako treba spomenuti da elektromotor nakon godine dana rada ima i oko 1456 radnih sati više.

Moguća poboljšanja krajnjih rezultata mogla bi se postići prilikom sljedećeg roka skidanja elektromotora i to:

Budući da se balansiranje elektromotora vrši pri nižoj okretnoj brzini od radne, zbog samih mogućnosti stroja za balansiranje, trebalo bi uzimati strože tolerancije prema ISO 1940. te tako izvesti balansiranje, što je prvi i jednostavniji način.

Drugi način je zahtjevniji te zahtijeva i veće troškove a podrazumijeva ispitivanje koncentričnosti provrta prednje i stražnje strane elektromotora u koje su uprešani ležajevi te ih po potrebi finim tokarenjem dovesti do koncentričnosti. Ako bi se išlo u ovaj zahvat potrebni su i ležajevi većih vanjskih promjera, što opet donosi novi trošak.

Na temelju dosadašnjih ispitivanja, dokazano je da nakon nekog vremena upotrebe stroja i nakon rastavljanja u dijelove prilikom remonta, nemoguće je više postići ono stanje koje je bilo kad je stroj bio nov.

Skidanje i reparatura elektromotora bila je obavezna zbog Zakona, temeljem Pravilnika o najmanjim zahtjevima sigurnosti i zaštite zdravlja radnika te tehničkom nadgledanju postrojenja, opreme, instalacija i uređaja u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, NN 39/06 i NN 106/07, kojim je propisan rok kontrole protueksplozijske zaštite za strojeve koji se nalaze u ovakvim prostorima.

Kad govorimo o laserskom centriranju i balansiranju rotacijskih strojeva velikih dimenzija i masa, koji rade pri velikim brzinama vrtnje ( $3000 \text{ min}^{-1}$ ), prilikom rada potrebna je velika koncentracija na ono što se radi i treba posvetiti dosta pažnje na svaki detalj, jer kod ovog posla ima dosta utjecajnih parametara koji mogu utjecati na dobivene rezultate, jer su dopuštene tolerancije vrlo uske. Tu treba spomenuti, ukoliko je kod izvođenja laserskog centriranja oprema labavo pritegnuta na vratila, dobiti će se potpuno netočni podaci parametara necentričnosti, kao i u slučaju prebrzog zakretanja vratila seta prilikom mjerenja. Presudna je stvar kod izvođenja posla staloženost i mirnoća operatera koji vrši posao. U svakom slučaju potrebno je predvidjeti uzroke i posljedice svojih postupaka kao i u svakome poslu.

Današnja tehnologija i mjerni ispitni uređaji imaju visoke razine pouzdanosti i točnosti pa je moguće postići vrhunske rezultate, koje je ne tako davno bilo nezamislivo postići, dok se je prakticiralo poravnanje strojeva „na oko“ ili jednostavnim pomagalima.

Lasersko centriranje strojeva i dinamičko balansiranje predstavljaju nezaobilazne metode u održavanju rotacijske opreme, a time pridonose i optimizaciji ukupnog održavanja u industrijskim postrojenjima neovisno čime se ona bave. Korištenjem ovih metoda ostvaruju se uštede na potrošnji energije (istraživanjima dokazano da se ostvaruju uštede u potrošnji en. od 5-8%), što posebno dolazi do izražaja u onim postrojenjima gdje je instaliran velik broj strojeva.

## 9. LITERATURA

- [1] Pruftechnik Ltd.: An Engineers Guide to Shaft Alignment, Vibration Analysis, Dynamic Balancing & Wear Debris Analysis; Pruftechnik Ltd, 2012.
- [2] Teorijske podloge iz održavanja: prof.dr.sc. Ivo Čala, 2012.
- [3] Podloge s predavanja, predmet Održavanje: prof.dr.sc. Dragutin Lisjak
- [4] Kondić V., Horvat M., Maroević F.; Stručni članak: Primjena dijagnostike kao osnove održavanja po stanju, Varaždin 2013.
- [5] Kardum S.: Diplomski rad, Zagreb, 2013..
- [6] <http://turbomehanika.hr/> posjećeno 30.05.2016.g.
- [7] <http://www.stsi.hr/> posjećeno 30.05.2016.g.
- [8] <http://www.eltra-mg.hr/> posjećeno 30.05.2016.g.
- [9] <http://www.pruftechnik.com/products/alignment-systems-for-rotating-machinery/shaft-alignment-systems/rotalign-ultra-is.html>, posjećeno 10.06.2016.g.
- [10] <http://www.pruftechnik.com/products/alignment-systems-for-rotating-machinery/belt-pulley-alignment-systems/pullalign.html>, posjećeno 10.06.2016.g.
- [11] Servisni izvještaj elektromotora: Mato el-d d.o.o.

## **PRILOZI**

- I. Servisni izvještaj elektromotora: Mato el-d d.o.o.
- II. Dijagnostički izvještaj stanja P 14-15 od 27.02.2015.g: STSi d.o.o.
- III. Dijagnostički izvještaj stanja od 25.04.2016.g: STSi d.o.o.



## Prilog I. Servisni izvještaj elektromotora: Mato el-d d.o.o.



**Mato el-d**  
d.o.o. za građiteljstvo, trgovinu i usluge

• adresa: Ulica 65. bofaljana ŽNG 9, 10310 Ivanić-Grad  
 • tel: +385 1 2831 020      • e-mail: info@melid.hr  
 • fax: +385 1 2831 049      • web: www.melid.hr

## Izvještaj o balansiranju br. 0452/16

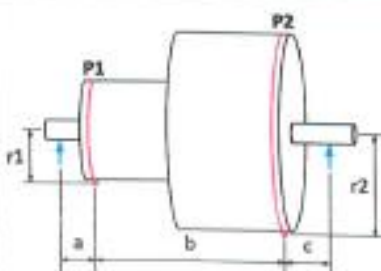
Datum i vrijeme: 12.04.2016., 11:35:40

Korisnik:	INA industrija nafte d.d. – Pogon Šumečani
Predmet balansiranja:	Rotor elektromotora „Končar“ 6 ATJ 318-02
Nazivni podatci:	200 kW, 380 V, 352 A, 2983 min <sup>-1</sup>
Tvornički broj:	944623

Norma	ISO 1940	Dimenzije [mm]	
G	2,50	a	165,00
Masa rotora [kg]	220,00	b	500,00
Brzina vrtnje [min <sup>-1</sup> ]	2983	c	225,00

	Tolerancija [g]	r [mm]
P1	7,747	119,00
ST	12,804	144,00
P2	7,747	119,00



## Preostala neuravnoteženost

P1 [g]	ST [g]	P2 [g]
4,06	1,91	2,00
32,3 °	230,6 °	191,0 °

Brzina vrtnje pri kojoj je provedeno balansiranje: 745 min<sup>-1</sup>.

## Napomena:

Balansiranjem u dvije ravnine preostala neuravnoteženost zadovoljava kriterij prihvatljivosti (stupanj kvalitete balansiranja G 2,50) za rotore krutog stanja prema normi ISO 1940.

Operator: Tomislav Lovrić

*Tomislav Lovrić*

Kontrolirao: Tomislav Bartolić, ing. el.

*Tom Bartolić*

 <b>Mato el-d</b> d.o.o. za projektiranje, inženjering i usluge Ulica M. Boračkova DNG 9, 10010 Hvarč-Grač, Hrvatska Tel: +385 1 2831 030 Fax: +385 1 2831 049 Mato: www.mato.hr E-mail: info@mato.hr	VRSTA DOKUMENTA: <b>ZAPIS</b>	PODRUČJE PRIMJENE: <b>PE<sub>x</sub></b>	
	NAZIV DOKUMENTA:	OZNAKA DOKUMENTA:	
	<b>IZVJEŠTAJ BROJ 04016 Ex O MJERENJU VIBRACIJA</b>	<b>OB 8.2.4-12</b>	IZDAJE: <b>B2</b>

**1. PODACI O GRAĐEVINI**

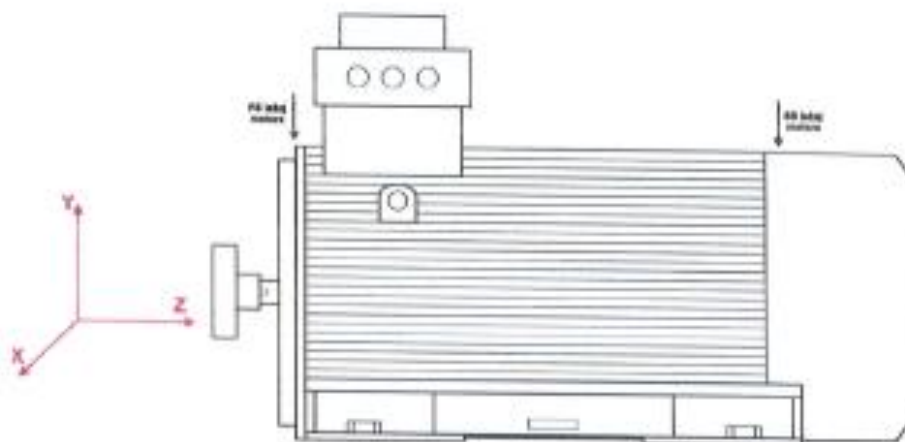
Oznaka projekta:	Naručilac:	Radni zadatak br.:
---	<b>STSI – Integrirani tehnički servisi d.o.o.</b>	<b>0452/16</b>
Gradivna:	Korisnik:	Broj dnevnika:
---	<b>INA industrija nafte d.d. – Pogon Šumečani</b>	<b>04016 Ex</b>

**2. PODACI O MJERILU**

Oznaka / broj:	Opisivanje o utjecivanju / dodatni oprema:	Vrijedi do:
<b>Emerson CSI 2140</b>	---	---

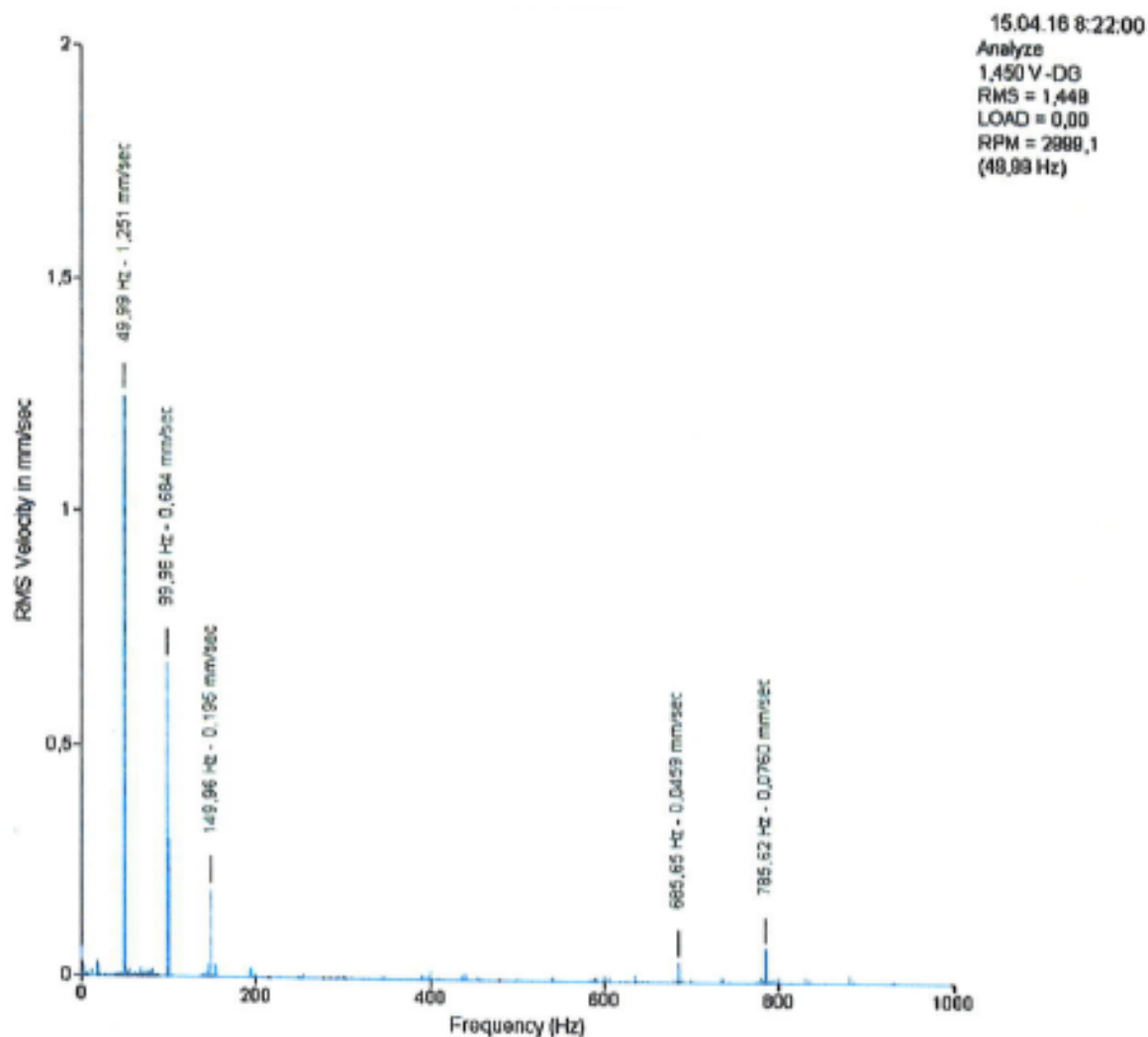
**3. PODACI O MJERENOM UREĐAJU**

Naziv uređaja:	Tip uređaja:	Twonički broj:
<b>Elektromotor</b>	<b>„Končar“ 6 ATJ 318-02</b>	<b>944623</b>
Nazivni podaci:	Oznaka u postrojanju:	
<b>200 kW, 380 V, 352 A, 2983 min<sup>-1</sup>, cosφ = 0,9, 50 Hz</b>	---	

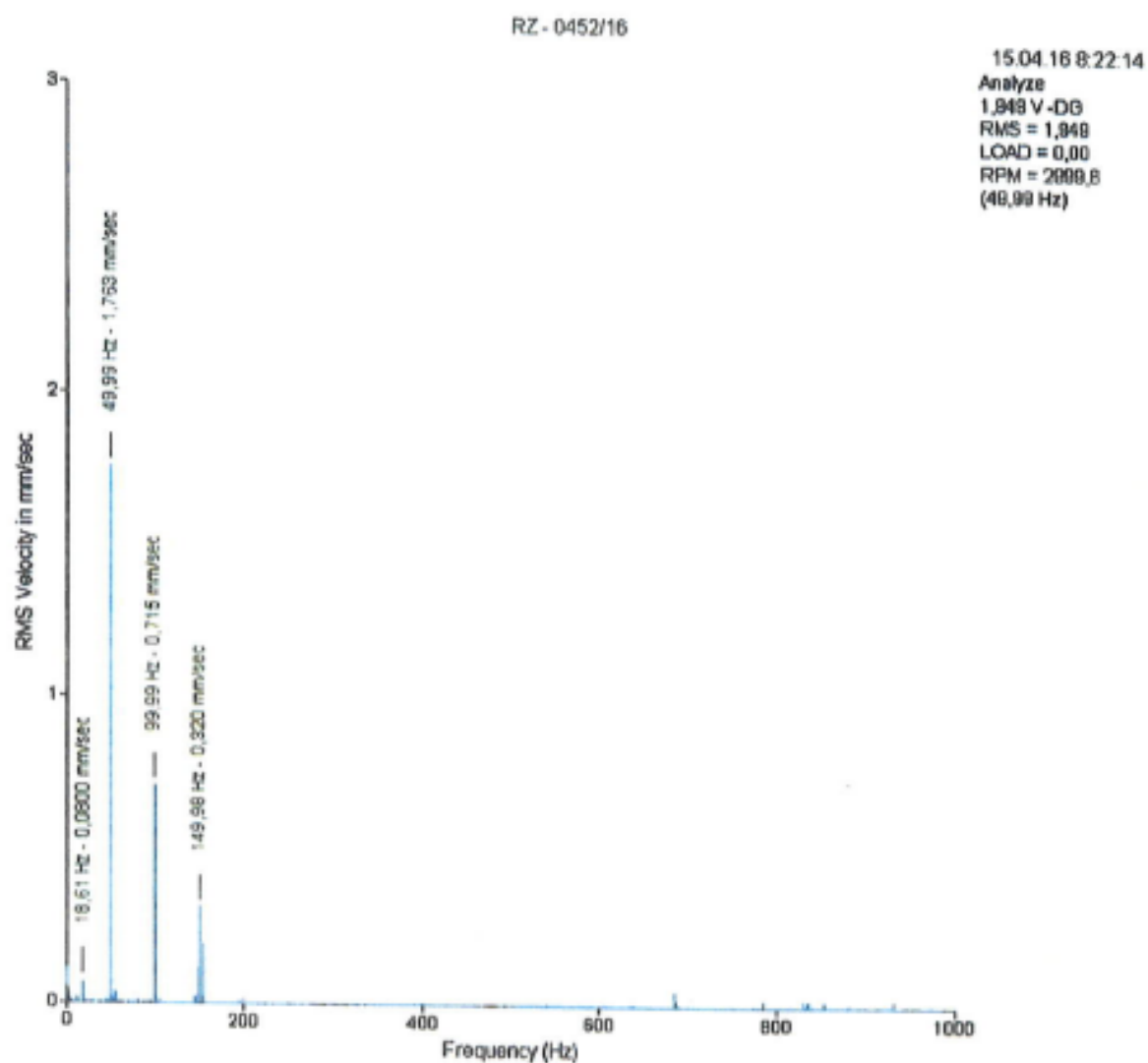
**4. REZULTATI MJERENJA****Ukupna jačina vibracija [mm/s]**

ELEKTROMOTOR PS			ELEKTROMOTOR SS		
X	Y	Z	X	Y	Z
1,449	1,949	1,863	1,311	2,083	1,813
Gornja dopuštena jačina vibracija za ovaj tip stroja: 4,5 mm/s (ISO 10816-3)					

 <b>Mato el-d</b> <small>(Ured za građevinarstvo, agencija i usluge)</small> Ulica 65. bataljona ZNG V, 10010 Bečani (Novi Beograd) Tel: +385 1 2631 000 Fax: +385 1 2631 000 Web: www.matoel-d.hr E-mail: info@matoel-d.hr	VRSTA DOKUMENTA: <b>ZAPIS</b>	PODRUČJE PRIMJENE: <b>PEx</b>	
	NAZIV DOKUMENTA:	OZNAKA DOKUMENTA:	
	<b>IZVJEŠTAJ BROJ 04016 Ex O MJERENJU VIBRACIJA</b>	<b>OB 8.2.4-12</b>	
	IZDANJE: <b>B2</b>	STRANICA: <b>2 / 5</b>	

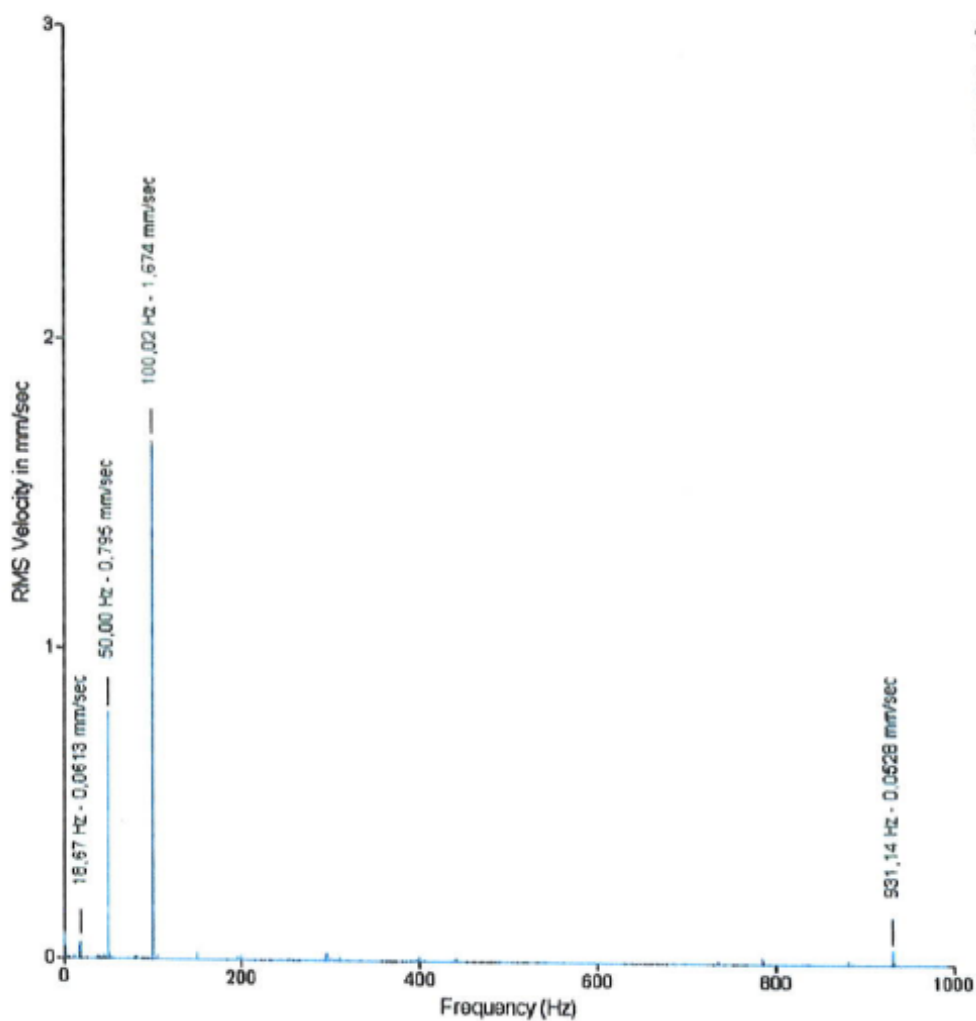


*Slika 1. Spektar vibracijskog signala elektromotora na PS ležaju u X smjeru*

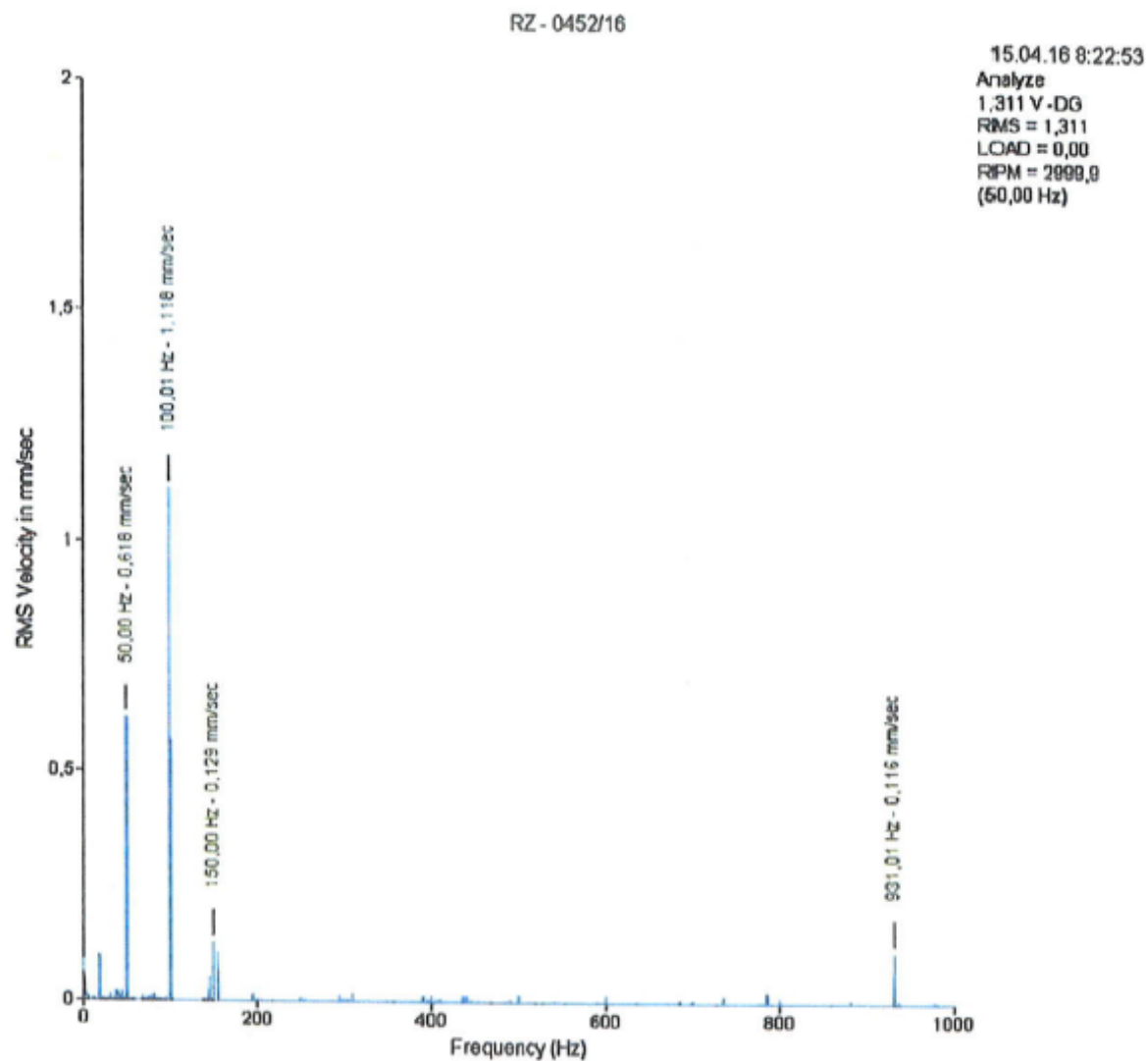


Slika 2. Spektar vibracijskog signala elektromotora na PS ležaju u Y smjeru

 <b>Mato el-d</b> d.o.o. za graditeljstvo, trgovinu i usluge Ulica 65. bataljuna ŽNG 9, 10310 Ivanić-Grad, Hrvatska Tel: +385 1 2831 020 Fax: +385 1 2831 049 Web: www.meld.hr E-mail: info@meld.hr	VRSTA DOKUMENTA: <b>ZAPIS</b>	PODRUČJE PRIMJENE: <b>PEx</b>	
	NAZIV DOKUMENTA:	OZNAKA DOKUMENTA:	
	<b>IZVJEŠTAJ BROJ 04016 Ex</b> <b>O MJERENJU VIBRACIJA</b>	<b>OB 8.2.4-12</b>	IZDANJE: <b>B2</b>



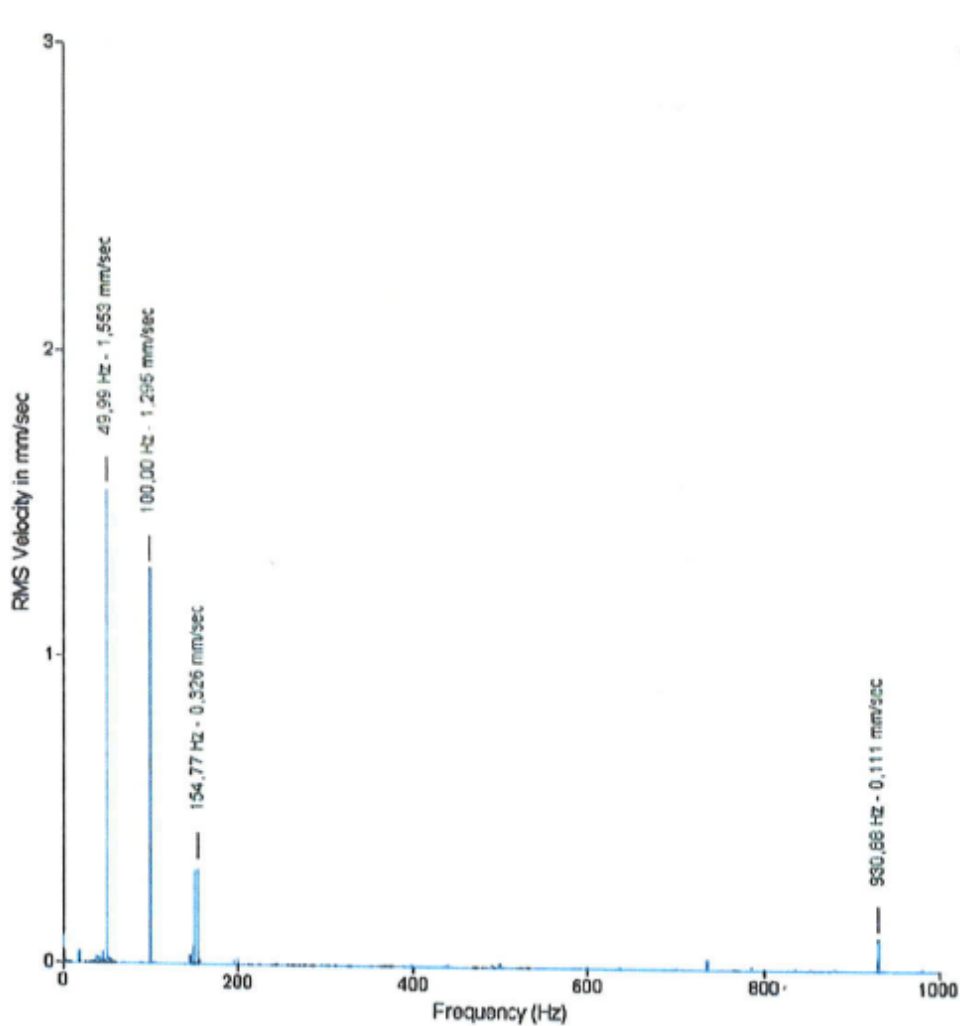
Slika 3. Spektar vibracijskog signala elektromotora na PS ležaju u Z smjeru



Slika 4. Spektar vibracijskog signala elektromotora na SS ležaju u X smjeru

 <b>Mato el-d</b> d.o.o. za građiteljstvo, trgovinu i usluge Ulica 65, batajuna ZNG 9, 10310 Ivanič-Grad, Hrvatska Tel: +385 1 2831 020 Fax: +385 1 2831 049 Web: www.meld.hr E-mail: info@meld.hr	VRSTA DOKUMENTA: <b>ZAPIS</b> NAZIV DOKUMENTA:	PODRUČJE PRIMJENE: <b>PEx</b> OZNAKA DOKUMENTA:
	<b>IZVJEŠTAJ BROJ 04016 Ex</b> <b>O MJERENJU VIBRACIJA</b>	
	IZDANJE: <b>B2</b>	STRANICA: <b>4 / 5</b>

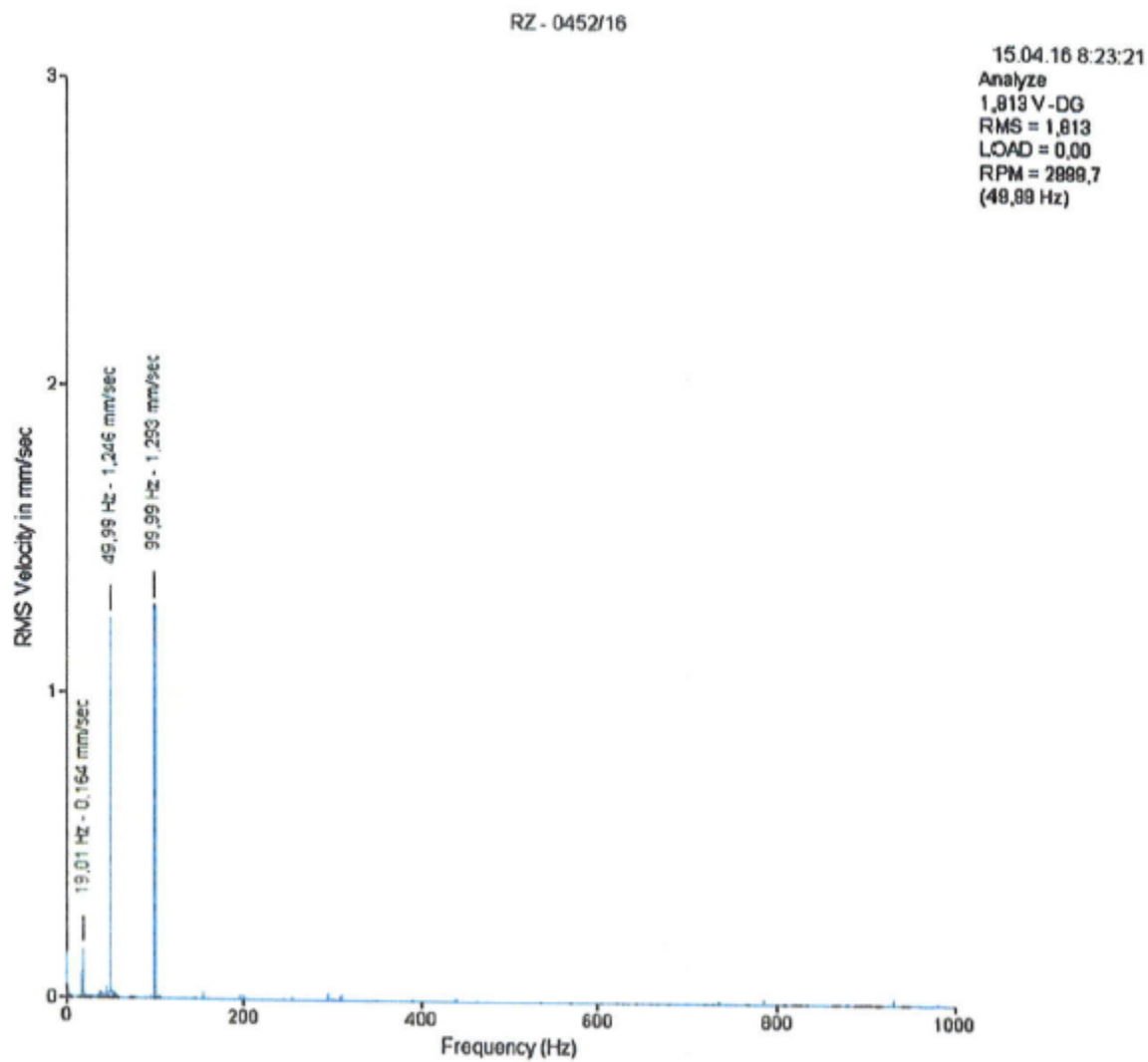
RZ - 0452/16



15.04.16 8:23:08  
 Analyze  
 2,064 V-DG  
 RMS = 2,083  
 LOAD = 0,00  
 RPM = 2889,8  
 (49,99 Hz)

Slika 5. Spektar vibracijskog signala elektromotora na SS ležaju u Y smjeru





Slika 6. Spektar vibracijskog signala elektromotora na SS ležaju u Z smjeru



 <b>Mato el-d</b> <small>izdava za građevinarstvo, inženjering i usluge</small> Ulica 45. Domiljane ŽNG 9, 10310 Ivanič Grad, Hrvatska Tel: +385 1 2831 631 Fax: +385 1 2831 042 Web: www.mato.hr E-mail: info@mato.hr	VRSTA DOKUMENTA: <b>ZAPIS</b> NAZIV DOKUMENTA:	PODRUČJE PRIMJENE: <b>PEx</b>		
	<b>IZVJEŠTAJ BROJ 04016 Ex</b> <b>O MJERENJU VIBRACIJA</b>		OZNAKA DOKUMENTA:	
			<b>OB 8.2.4-12</b>	
		IZDAVANJE: <b>B2</b>	STRANIČA: <b>5 / 5</b>	

## 5. ZAKLJUČAK

Mjerenje vibracija izvršeno je pri radu elektromotora u praznom hodu sukladno zahtjevima norme ISO 10816-3 i rezultati mjerenja zadovoljavali su sve zahtjeve.

Spektralnom analizom vibracijskih signala nisu uočene nikakve indikacije koje bi upućivale na nepouzdan rad elektromotora.

	REZULTAT ISPITIVANJA: <b>Zadovoljava</b>	STANJE UTVRDIO:  Ivan Bel	KONTROLIRAO:  Tomislav Bartolić, ing. el.
	DATUM ISPITIVANJA: <b>15.04.2016.</b>		

# Prilog II. Dijagnostički izvještaj P14-15 od 27.02.2015.

ST SI - INTEGRIRANI TEHNIČKI SERVISI d.o.o. Zagreb SEKTOR ODRŽAVANJA BENZINSKIH POSTAJA I LOGISTIKE SLUŽBA TEHNIČKE KONTROLE I DIJAGNOSTIKE HR-10000 Zagreb, Lovinčićeva 4, ☎ 01/2381122, fax. 01/2381250	Izvještaj: P14-15 0000S4216047 0000S4216054 RN: 0000S421605 / 0000S4216041
--	--

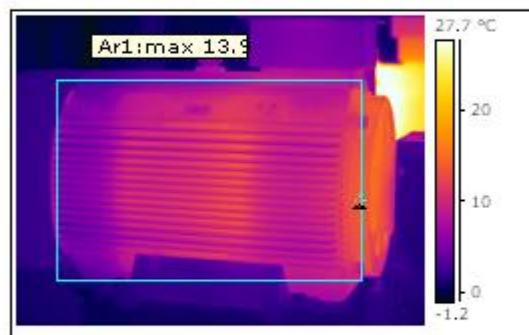
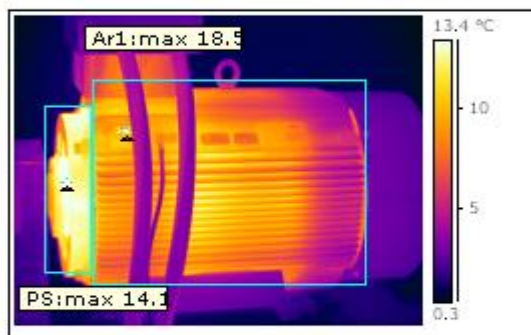
Datum:	27.2.2015.	Fotografija:	SAM_0160.JPG
Lokacija:	Ivaničko Graberje		
Postrojenje:	OS Graberje		
Teh. oznaka:	MP1		
Objekt:	Elektromotor		
Proizvođač:	Končar		
Model i/ili Tip:	6ATJ318-02		
Serijski broj:	944623		
Snaga (kW)	200		
°/min:	2900		
ISO Klasa:	Klasa III		

Datum mjerenja ukupnih vibracija (mm/s - RMS):			27.2.2015.	Radni uvjeti:	Tehnološki mogući
Os	Prednja strana	Stražnja strana			
X	1,739	1,846			
Y	1,954	1,089			
Z	1,640	1,708			
Ocjena stanja (po ISO 10816-1):		Zona A			

Stanje ležaja	(m/s <sup>2</sup> - karakteristične frekvencije dijela ležaja), Okretna frekvencija iz FFT-a: 2981 °/min				
Ležajevi	F. vanjski	F. unutarnji	F. kotrljajući	F. kavez	Stanje – preporuka
Prednji 6317 C3	0,027	0,026	0,039	0,039	Dobro
Stražnji 6317 C3	0,015	0,005	0,009	0,008	Dobro

Termografija:			
Datum	Prednji L. (°C)	Tijelo (°C)	Ocjena stanja
27.2.2015.	14,1	18,5	Zadovoljava

Termogram:	IR_3160.jpg	Termogram:	IR_3162.jpg
------------	-------------	------------	-------------



Napomena: 25 min

P14-15 Dugo Selo, Kloštar, Graberje	list :	1	listova : 3
-------------------------------------	--------	---	-------------

STSI - INTEGRIRANI TEHNIČKI SERVISI d.o.o. Zagreb  
SEKTOR ODRŽAVANJA BENZINSKIH POSTAJA I LOGISTIKE  
SLUŽBA TEHNIČKE KONTROLE I DIJAGNOSTIKE  
HR-10000 Zagreb, Lovinčičeva 4, ☎01/2381122, fax.01/2381250

Izveštaj: P14-15  
0000S4216047  
0000S4216054  
RN: 0000S4216057  
0000S4216041

Datum:	27.2.2015.	Fotografija:	SAM_0161.JPG
Lokacija:	Ivaničko Graberje		
Postrojenje:	OS Graberje		
Teh. oznaka:	MP1		
Objekt:	Pumpa		
Proizvođač:	Ingersoll Rand		
Model i/ili Tip:	5UO-2		
Serijski broj:	W318116		
Snaga (kW)	~		
°/min:	~		
ISO Klasa:	Klasa III		

Datum mjerenja ukupnih vibracija (mm/s - RMS): 27.2.2015. Radni uvjeti: Tehnološki mogući

Datum mjerenja: 27.2.2015.		Radni uvjeti: Normalni radni uvjeti	
Os	Prednja strana	Stražnja strana	
X	1,483	3,257	
Y	2,303	6,972	
Z	2,527	1,832	
Ocjena stanja (po ISO 10816-1):		Zona B	

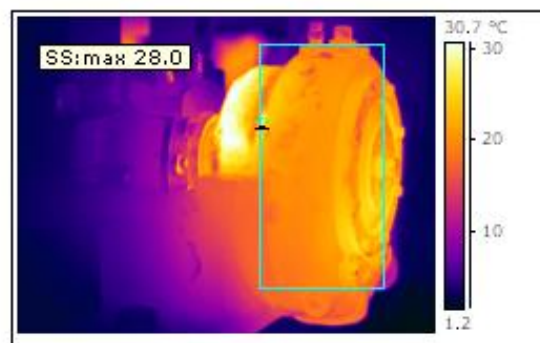
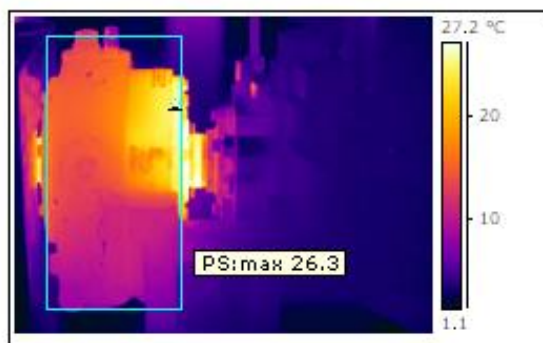
Stanje ležaja (m/s<sup>2</sup> - karakteristične frekvencije dijela ležaja), Okretna frekvencija iz FFT-a: 2981 °/min

Ležajevi	F. vanjski	F. unutarnji	F. kotrljajući	F. kavez	Stanje – preporuka
Prednji 6411	0,022	0,051	0,034	0,099	Dobro
Stražnji 2313	0,032	0,024	0,038	0,038	Dobro

Termografija:

Datum	Prednji L. (°C)	Tijelo (°C)	Stražnji L. (°C)	Ocjena stanja
27.2.2015.	26,3	5,9	28,0	<b>Zadovoljava</b>

Termogram:	IR_3164.jpg	Termogram:	IR_3166.jpg
------------	-------------	------------	-------------



Napomena: 25 min

P14-15 Dugo Selo, Kloštar, Graberje	list: 2	listova: 3
-------------------------------------	---------	------------

# **Prilog III. Dijagnostički izvještaj P22-16 U31-16 od 25.04.2016. STSi d.o.o.**



integrirani  
tehnički  
servisi  
d.o.o.

član INA grupe

SEKTOR ODRŽAVANJA BP I LOGISTIKE  
SLUŽBA TEHNIČKE KONTROLE I DIJAGNOSTIKE  
DIJAGNOSTIKA

## **MJERENJE VIBRACIJA I STANJA KOTRLJAJUĆIH LEŽAJA OTPREMNA STANICA GRABERJE** (Travanj, 2016.)

Izvještaj	P22-16 U31-16	0000S4247819 0000S4247861 0000S4247868
SLUŽBA TEHNIČKE KONTROLE I DIJAGNOSTIKE		



Naručitelj :



INDUSTRIJA NAFTE, d.d.  
SD istraživanje i proizvodnja nafte i plina  
Sektor proizvodnje nafte i plina  
Proizvodna regija središnja Hrvatska

U Zagrebu, 25.04.2016.

stranica: 1 / 9



STSI - INTEGRIRANI TEHNIČKI SERVISI d.o.o. Zagreb  
SEKTOR ODRŽAVANJA BENZINSKIH POSTAJA I LOGISTIKE  
SLUŽBA TEHNIČKE KONTROLE I DIJAGNOSTIKE  
DIJAGNOSTIKA  
HR-10000 Zagreb, Lovinčićeva 4, ☎ 01/2381122, fax. 01/2381250

Izvršitelj: P22-16 U31-16  
0000S4247819  
0000S4247861  
0000S4247868

Opći podaci		
Naručitelj:	INA d.d., Proizvodna regija središnja Hrvatska	
Mjesto ispitivanja:	Otpremna Stanica Graberje	
Kontakt osoba:	Stanko Habulin	
Naziv e-zapisa (file-a):	P22-16 U31-16 KS OS Graberje.doc	
Izvršitelji ispitivanja:	Željko Muselinović, Ovlašteni termografier, HUICT 062/2005 "ITC" termografier - level 1; cert.br. 2011HR45N007	Zdravko Jalžabetić Ovlašteni termografier, HUICT 062/2005 "ITC" termografier - level 2; cert.br. 2012HR04N006
	Zlatko Buconjić, Ovlašteni termografier, "ITC" termografier - level 1; cert.br. 2016HR10N006	~
E-mail :	sasa.bratko@stsi.hr	
Telefon:	+385 98 400 375	

Instrumenti :



Za analizu vibrodijagnostike korišteni su programi : Excel tablica uz direktno očitavanje iz instrumenta  
Za analizu termograma korišten je program : Flir Reporter 9.

#### Uvodni komentar :

Tijekom mjeseca Ožujka 2016. godine izvršeno je mjerenje ukupnih vibracija i stanja kotrljajućih ležaja na strojevima OS Graberje nakon provedenog laserskog centriranja, te termografski pregled ležaja elektromotora. Mjerenje je vršeno na elektromotorima nakon postizanja radnih uvjeta.

Mjerenje vibracija vršeno je prema standardu **ISO 10816-1** (iz 1995 g.), te je ocjena stanja dana prema zonama spomenutog standarda. Podaci će se koristiti za praćenje trenda eventualnog porasta vibracija, a dodatna zapažanja navedena su za svaki pojedini stroj. Mjerne točke i smjer mjerenja također su prema preporukama spomenutog standarda, prednja strana strojeva je uvijek strana do spojke bilo to pogonskog ili pogonjenog stroja, a suprotna strana je stražnja.

Primjedbe i želje u vezi radova i izvješća poslati na gore navedenu adresu elektronske pošte i Ocjelovit izvještaj čuva se u arhivi Dijagnostike

Izrada izvještaja:

Zeljko Muselinović ing.el.

VODITELJ DIJAGNOSTIKE:

Saša Bratko

U Zagrebu, 25.04.2016.

stranica: 2 / 9

STSI - INTEGRIRANI TEHNIČKI SERVISI d.o.o. Zagreb  
SEKTOR ODRŽAVANJA BENZINSKIH POSTAJA I LOGISTIKE  
SLUŽBA TEHNIČKE KONTROLE I DIJAGNOSTIKE  
DIJAGNOSTIKA  
HR-10000 Zagreb, Lovinčićeva 4, ☎01/2381122, fax.01/2381250

Izveštaj: P22-16 U31-16

0000S4247819

0000S4247861

0000S4247868

#### Kriterij za ocjenu vibracijskog stanja:

Standard ISO 10816-1 (iz 1995 g.) za klasu strojeva :

"I" ( $\leq 15$  kW), "II" (15-75 kW), "III" ( $> 75$  kW), i "IV"-veliki strojevi i drugi veliki strojevi sa rotirajućim masama.

RMS vibracijska brzina mm/s	Klasa I	Klasa II	Klasa III	Klasa IV
	Zona	Zona	Zona	Zona
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	B
1,8				
2,8	C	C	C	C
4,5				
7,1	D	D	D	D
11,2				
18				
28				
45				

**A** – Odlično stanje stroja

**B** – Stanje osigurava dugotrajani i siguran rad

**C** – Rad strojeva je moguć ali je potrebno planirati korektivne radnje

**D** – Rad stroja u ovoj zoni je nesiguran i može prouzrokovati oštećenja

Za strojeve sa kotrljajućim ležajevima izvršena je analiza pojedinog ležaja pomoću krivulje envelope i kritičnih frekvencija, te je dana iskustveno preporuka o stanju i eventualnoj zamjeni pojedinog ležaja. Podaci o ležajevima u pojedinom stroju dobiveni od korisnika, serviseri i sa natpisnih pločica stroja. Preporučeni nivo nakon čega se smatra oštećen ležaj, (FAG, SKF), je za pojedini dio  $0,250 \text{ m/s}^2$  na karakterističnim frekvencijama.

Moguća greška prilikom očitavanja amplituda vibracija karakterističnih za pojedini dio ležaja može doći ako se iste poklapaju sa amplitudama okretnih frekvencija ili amplitudama frekvencija karakterističnih dijelova stroja (lopatice, ventilatorska pera, susjedni stroj u radu) i na to treba posebno voditi računa pri dijagnosticanju oštećenja.

ST SI - INTEGRIRANI TEHNICKI SERVISI d.o.o. Zagreb SEKTOR ODRŽAVANJA BENZINSKIH POSTAJA I LOGISTIKE SLUŽBA TEHNIČKE KONTROLE I DIJAGNOSTIKE DIJAGNOSTIKA HR-10000 Zagreb, Lovinčičeva 4, ☎01/2381122, fax.01/2381250	Izvještaj: <b>P22-16 U31-16</b> 0000S4247819 0000S4247861 0000S4247868
--	---

#### SADRŽAJ IZVJEŠTAJA



lokacija	oznaka	izvršeni radovi	kW - Klasa	strana
OS Graberje	<b>EM-1</b>	Uk. vibr., stanje ležaja, termografija	200 - III	5
OS Graberje	<b>P-1</b>	Uk. vibr., stanje ležaja, termografija	181 - III	6
OS Graberje	<b>EM-2</b>	Uk. vibr., stanje ležaja, termografija	200 - III	7
ZAKLJUČAK	<b>P-2</b>	Uk. vibr., stanje ležaja, termografija	181 - III	8

STSI - INTEGRIRANI TEHNIČKI SERVISI d.o.o. Zagreb  
SEKTOR ODRŽAVANJA BENZINSKIH POSTAJA I LOGISTIKE  
SLUŽBA TEHNIČKE KONTROLE I DIJAGNOSTIKE  
DIJAGNOSTIKA  
HR-10000 Zagreb, Lovinčićeva 4, ☎01/2381122, fax.01/2381250

Izvještaj: P22-16 U31-16  
0000S4247819  
0000S4247861  
0000S4247868

Lokacija:	Graberje
Postrojenje:	OS Graberje
Teh. oznaka:	EM-1
Objekt:	Elektromotor
Proizvođač:	KONCAR
Model i/ili Tip:	6ATJ 318-02
Serijski broj:	944623
kW - Klasa:	200 - III

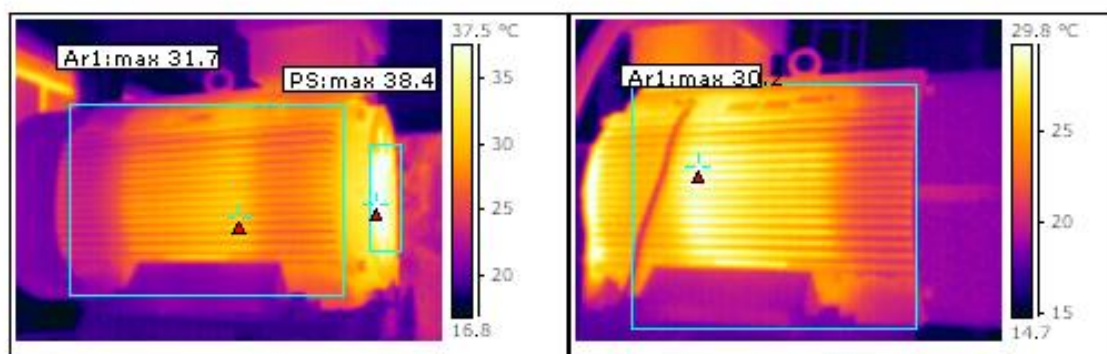


Datum mjerenja ukupnih vibracija (mm/s - RMS): 22.04.2016. Radni uvjeti: normalni

Os	Prednja strana	Stražnja strana	Okretna frekvencija: 2981 °/min
X	3,399	4,038	
Y	1,151	1,806	
Z	3,066	3,219	
Ocjena stanja (po ISO 10816)		<b>Zona B</b>	

Stanje ležaja (m/s<sup>2</sup> - karakteristične frekvencije dijela ležaja)

Ležajevi	F. vanjski	F. unutarnji	F. kotrljajući	F. kavez	Stanje – preporuka
Prednji 6317 C3	0,044	0,055	0,021	0,069	Dobro
Stražnji 6317 C3	0,036	0,095	0,005	0,051	Dobro



Datum	Prednji L. (°C)	Tijelo (°C)
24.03.2016.	38,14	31,7



STSI - INTEGRIRANI TEHNIČKI SERVISI d.o.o. Zagreb  
SEKTOR ODRŽAVANJA BENZINSKIH POSTAJA I LOGISTIKE  
SLUŽBA TEHNIČKE KONTROLE I DIJAGNOSTIKE  
DIJAGNOSTIKA  
HR-10000 Zagreb, Lovinčićeva 4, ☎01/2381122, fax.01/2381250

Izveštaj: P22-16 U31-16  
0000S4247819  
0000S4247861  
0000S4247868

Lokacija:	Graberje
Postrojenje:	OS Graberje
Teh. oznaka:	P-1
Objekt:	Pumpa
Proizvođač	Ingersoll - Dresser
Model i/ili Tip	5 UQ 2
Serijski broj	318.116
kW - Klasa	181 - III

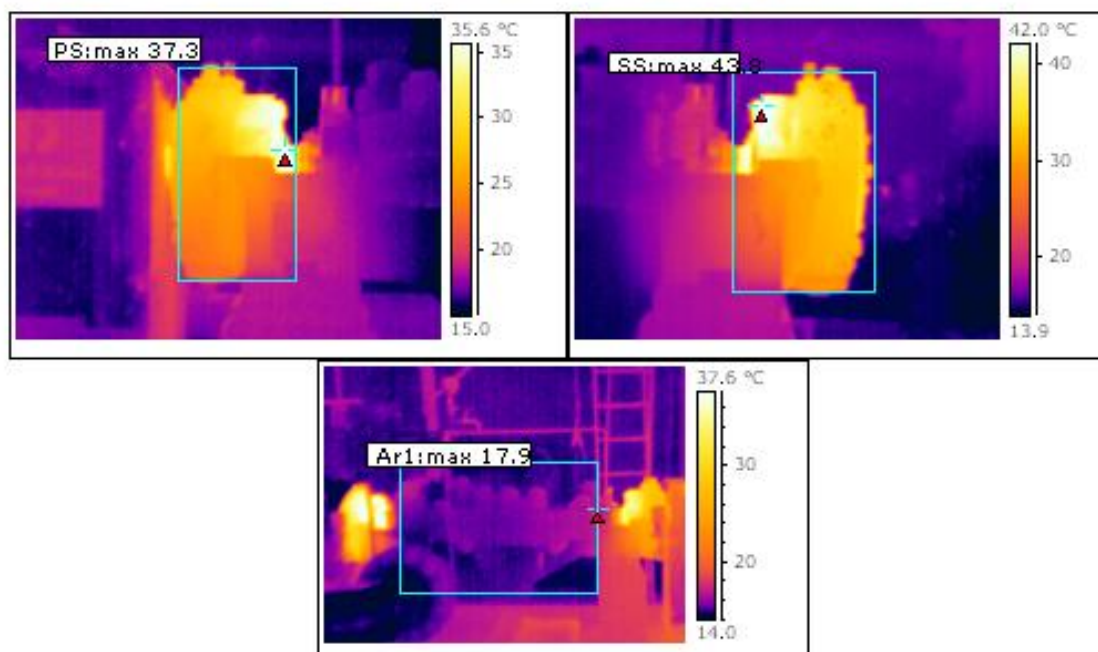


Datum mjerenja ukupnih vibracija (mm/s - RMS): 22.04.2016. Radni uvjeti: normalni

Os	Prednja strana	Stražnja strana	Okretna frekvencija: 2981 °/min
X	1,435	2,577	
Y	3,717	5,351	
Z	2,378	2,505	
Ocjena stanja (po ISO 10816)		<b>Zona B</b>	

Stanje ležaja (m/s<sup>2</sup> - karakteristične frekvencije dijela ležaja)

Ležajevi	F. vanjski	F. unutarnji	F. kotrljajući	F. kavez	Stanje – preporuka
Prednji 6411	0,180	0,038	0,163	0,076	Dobro
Stražnji 2313	0,004	0,056	0,027	0,065	Dobro



Datum	Prednji L. (°C)	Tijelo (°C)	Stražnji L. (°C)
24.03.2016.	37,3	17,9	43,8

stranica: 6 / 9